

**Luiz Eduardo Lima de Freitas**

**Relação energia:proteína em dietas práticas para juvenis de jundiá  
(*Rhamdia quelen*): digestibilidade e desempenho**

Tese submetida ao Programa de Pós-Graduação em Aquicultura da Universidade Federal de Santa Catarina para a obtenção do Grau de Doutor em Aquicultura.

Orientadora: Débora Machado Fracalossi

Florianópolis  
2015

Ficha de identificação da obra elaborada pelo autor,  
através do Programa de Geração Automática da Biblioteca Universitária da UFSC.

Freitas, Luiz Eduardo Lima de

Relação energia:proteína em dietas práticas para juvenis  
de jundiá (*Rhamdia quelen*): digestibilidade e desempenho  
/ Luiz Eduardo Lima de Freitas ; orientadora, Débora  
Machado Fracalossi - Florianópolis, SC, 2015.

107 p.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa  
Catarina, Centro de Ciências Agrárias. Programa de Pós  
Graduação em Aquicultura.

Inclui referências

1. Aquicultura. 2. Jundiá.. 3. Ingredientes práticos.  
4. Digestibilidade e relação energia:proteína. I.  
Fracalossi, Débora Machado. II. Universidade Federal de  
Santa Catarina. Programa de Pós-Graduação em Aquicultura.  
III. Título.

**Relação energia:proteína em dietas práticas para juvenis de jundiá  
(*Rhamdia quelen*): digestibilidade e desempenho**

Por

LUIZ EDUARDO LIMA DE FREITAS

Esta tese foi julgada adequada para a obtenção do título de

**DOCTOR EM AQUICULTURA**

e aprovada em sua forma final pelo Programa de  
Pós-Graduação em Aquicultura.



Prof. Alex Pires de Oliveira Nuñez, Dr.  
Coordenador do Programa

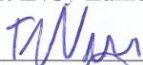
Banca Examinadora:



Dra. Débora Machado Fracalossi – *Orientadora*



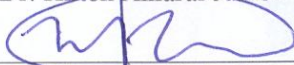
Dr. Evoy Zaniboni Filho



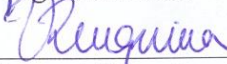
Dr. Felipe do Nascimento Vieira



Dr. Hilton Amaral Júnior



Dra. Maude Regina de Borba



Dr. Vinicius Ronzani Cerqueira



Dedico este trabalho ao meu bem mais  
precioso... a minha família.



## AGRADECIMENTOS

À Deus, por estar sempre ao meu lado em todos os momentos, dando-me perseverança e saúde para a conclusão de mais uma etapa.

À professora Débora Machado Fracalossi, pela amizade, profissionalismo na orientação deste trabalho e pelo exemplo de coragem, garra e otimismo no enfrentamento das adversidades.

Aos professores Evoy, Felipe, Vinícius, Maude e ao pesquisador Hilton, pela participação na banca examinadora e preciosas contribuições para melhoria deste trabalho.

Ao Carlito Klunk, pela ajuda constante e profissionalismo.

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES, pelas bolsas concedidas durante o período do doutorado.

À Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina - FAPESC, pelo financiamento desta pesquisa.

À Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina - EPAGRI, nas pessoas do Fabiano Muller, Hilton Amaral e Álvaro Graeff pela amizade, ensinamentos sobre o jundiá e doação dos animais usados nos experimentos.

Às empresas Evonik, pela realização das análises de aminoácidos, e *In vivo*, Tectron, Nicoluzzi, IMCOPA pela doação de parte dos ingredientes utilizados na fabricação das dietas experimentais.

À Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, em especial ao Carlos Magno Campos da Rocha, ao CTI/CNPASA e demais colegas do NTPA pelo apoio na fase final deste trabalho.

Aos bolsistas, Daniel, Mayara, Lucas, Jonatas e Yuri pela constante ajuda, dedicação e doação do seu tempo durante a realização deste trabalho.

À todos da equipe do LABNUTRI, especialmente a Sônia, Amarilis, Janice, Jeff e Liziane, pela preciosa ajuda neste trabalho.

Ao Bruno, pela amizade, paciência e ajuda com a estatística.

À todos da equipe do LAPAD, especialmente a Claudinha e os colegas Ronaldo, Renata, Maurício, Pedrão, Juventino, Patrick, Maria Fernanda e Neto por todo apoio prestado na execução deste trabalho.

Ao LCM e LAMEX, nas pessoas dos professores José Mourinho, Aimê e Eduardo Carginin, das colegas Norha e Ana Lúcia pela ajuda no processamento e realização de análises tão necessárias para este trabalho.

À minha família (Ana Maria, Luiz (*in memoriam*), Ana Cláudia, Carlos, Mariana, Leila, Ramon, Arthur, tias Vânia, Alba e Cássia e outros familiares), pela compreensão com a minha ausência no dia a dia de todos e por sempre me apoiarem nos meus sonhos.

À Bernadete pelo companheirismo, paciência, compreensão, carinho, amor, amizade e tantos momentos felizes.

Aos companheiros de trincheira, Fernando Cornélio, Doug, Camila, Vítor, Tati, Allan, Renatinha, Tharniê, Jorge, Adriano, Eliziane, Luciano “Mengo” Weiss, Dariane, Bruna, Gominho, Moisés, Túlio (Mineiro), Fernanda, Giuliano Huergo, Mariana, Roseane, Jurandir, Jaqueline, Carol, Valquíria, Rodrigo (Carioca), Gabriel Passini, Fábio Sterzelecki, Bruno Corrêa, Patrick Dibas, Micael e outros que eu tenha me esquecido, por toda ajuda e tantos momentos especiais vividos nesses últimos anos.

Aos meus queridos amigos, Paulinha Jimenez, Fernando (Gaúcho), Penélope, Augusto (Vietnã), Natyta, Gicella, Eric Routledge (Meu filho), Nívia, Giovani Bergamin, Roberta Gil, Juliano Guarizi, Rafinha Costa, Jeff & Ângela Legat, Paty Walker, Deivison, Daniel Weber, Martinha (MMM), Fernanda Gouveia, Jefferson Dick, Marcionília, Mestre Jhon, Diogenes, Tarcísio, Gustavo (Sal), Leo, Junim, Ricardos (Camurça, Takeuchi e Berto), Ari Neto e toda irmandade do surf que participaram de alguma forma desse trabalho e foram fundamentais nos momentos extra-acadêmicos.



*“Dizem que a vida é para quem sabe viver,  
mas ninguém nasce pronto. A vida é para  
quem é corajoso o suficiente para se arriscar  
e humilde o bastante para aprender.”*

(Clarice Lispector)



## RESUMO

Foram determinados os coeficientes de digestibilidade aparente (CDA) dos aminoácidos essenciais, proteína, energia e matéria seca das farinhas de resíduo do processamento de salmão (FRS), de vísceras de aves (FVA), de carne e ossos e de penas hidrolisadas, além do concentrado proteico (CPS) e farelo de soja e glúten de milho e trigo para juvenis de jundiá, *Rhamdia quelen* (peso médio: 160 g). A dieta referência e as dietas teste (compostas por 69,9% da dieta referência, 30% de um dos ingredientes teste e 0,1% de óxido de ítrio) foram ofertadas (10 e 16 h) aos peixes e as coletas das fezes foram realizadas a cada 5 h (23, 4 e 9 h), após sedimentação em tubos coletores. Os resultados dos CDA's mostraram que o jundiá aproveitou melhor os ingredientes vegetais frente aos animais. Entre os ingredientes avaliados, destaca-se o CPS, a FVA e a FRS, que além de serem bem digeridos, atenderam adequadamente às exigências em aminoácidos essenciais do jundiá. A partir dos valores de nutrientes digestíveis desses ingredientes, foram formuladas cinco dietas contendo diferentes relações de energia digestível:proteína digestível (ED:PD = 12, 11, 10, 9 e 8 kcal/g), as quais foram empregadas na avaliação do desempenho de jundiás com peso médio de 31 g. Cada dieta foi fornecida até a saciedade aparente a três grupos de 25 peixes às 9 e 16 h por 75 dias, sendo os mesmos submetidos a biometrias quinzenais. A sobrevivência foi de 100% em todos os tratamentos e as análises de regressão mostraram que as diferentes ED:PD afetaram ( $P < 0,05$ ) todas as variáveis de desempenho zootécnico e econômico, assim como a deposição de gordura corporal e o índice hepatossomático. As dietas contendo 12 e 8 kcal/g proporcionaram desempenho inferior, enquanto as dietas com ED:PD entre 9 e 11 kcal/g favoreceram maior ganho em peso diário (GPD), as melhores taxas de retenção proteica (TRP) e conversão alimentar (CA), proporcionando menores custos de alimentação (CMA) e acúmulo de gordura corporal. Com base no GPD e CA, a melhor ED:PD foi estimada em 9,08 kcal/g (38,28% e 3437,5 kcal/g) e 9,58 kcal/g (36,07% e 3125 kcal/g), respectivamente. Já as ED:PD ótimas para TRP e CMA foram 10,34 kcal/g (32,29% e 3229 kcal/g) e 10,4 kcal/g (33,38% e 3200 kcal/g), respectivamente.

**Palavras-chave:** Aqüicultura. Jundiá. Ingredientes práticos. Digestibilidade e relação energia:proteína.



## ABSTRACT

Apparent digestibility coefficients (CDA) for essential amino acids, protein, energy and dry matter of salmon fishmeal (FRS), poultry byproduct meal (FVA), meat and bone meal, poultry feather meal hydrolyzed feathers, soybean protein concentrate (CPS), soybean meal, corn gluten meal and wheat gluten meal were evaluated for juvenile jundiá, *Rhamdia quelen* (185 g, average body weight). A reference diet and seven test diets (comprised of 69.9% reference diet, 30% test ingredient, and 0.1% yttrium oxide) were fed to fish at 10 and 16 h. Following tank cleaning, feces were collected by sedimentation, every 5 h (23, 4 and 9 h). Our CDA results showed that jundiá valued plant over animal ingredients. Among the assessed ingredients, CPS, FVA and FRS showed to be well digested and able to meet fish's essential amino acid requirements. Subsequently, five diets were formulated, considering the digestible values of these ingredients, to have different energy to protein ratios (ED:PD = 12; 11; 10; 9 and 8 kcal/g), and were fed to jundiá (31 g average weight). Each diet, were fed twice daily (9 and 16 h) to three groups of 25 fish, during 75 days. Fish weight was evaluated every 15 days. Survival rates was 100% for all diet groups and regression analysis showed that the different dietary ED:PD ratios affected ( $p < 0.05$ ) all performance and economic variables, as well as the deposition of body fat. Diets containing 12 and 8 kcal/g yielded poorer performances, whereas diets containing ED:PD from 9 to 11 kcal/g favored weight gain (GPD), protein retention rates (TRP) and feed conversion (CA), also allowing for better feeding costs and less body fat buildup. Considering the variables GPD and CA, the best dietary ED:PD was estimated to be 9.08 kcal/g (38.28% and 3437.5 kcal/g) and 9.58 kcal/g (36.07% and 3125 kcal/g), respectively. However, when pondering on TRP and CMA, optimal dietary ED:PD was 10.34 kcal/g (32.29% and 3229 kcal/g) and 10.4 kcal/g (33.38% and 3200 kcal/g), respectively.

**Keywords:** Aquaculture. Jundiá. Ingredient. Digestibility and energy: protein ratio.



## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1 – Regressões da taxa de retenção proteica ( $y = -1,8709x^2 + 38,707x - 169,44$ ;  $R^2 = 0,5874$ ;  $P < 0,0001$ ) e do ganho em peso diário ( $y = -0,0397x^2 + 0,721x - 2,6501$ ;  $R^2 = 0,8843$ ;  $P < 0,0001$ ) de juvenis de jundiás alimentados com dietas contendo diferentes relações de ED:PD por 75 dias..... 73
- Figura 2 – Regressões do custo médio da alimentação ( $y = 0,0888x^2 - 1,7831x + 9,8696$ ;  $R^2 = 0,7802$ ;  $P < 0,0001$ ) e da conversão alimentar ( $y = 0,0649x^2 - 1,2436x + 7,0892$ ;  $R^2 = 0,7802$ ;  $P < 0,0001$ ) de juvenis de jundiás alimentados com dietas contendo diferentes relações ED: PD por 75 dias. .... 74
- Figura 3 – Regressões da gordura corporal ( $y = 0,336x^2 - 7,4667x + 50,55$ ;  $R^2 = 0,7469$ ;  $P < 0,05$ ) e índice hepatossomático ( $y = 0,2213x - 0,2753$ ;  $R^2 = 0,807$ ;  $P < 0,0001$ ) em juvenis de jundiás alimentados com dietas contendo diferentes relações ED:PD por 75 dias ..... 76
- Figura 4 – Variáveis de desempenho zootécnico e econômico, composição corporal e índice hepatossomático de juvenis de jundiás alimentados com a dieta 3500E:29 em relação àqueles alimentados com a dieta 3200:29. Médias com letras iguais não diferem entre si ( $P > 0,05$ )..... 79
- Figura 5 – Regressões do consumo alimentar ( $y = -0,0212x^2 + 0,3373x + 0,0381$ ;  $R^2 = 0,8706$ ;  $P < 0,05$ ) e da concentração de nitrogênio amoniacal total ( $y = -0,1829x + 2,3663$ ;  $R^2 = 0,9346$ ;  $P < 0,0001$ ) de juvenis de jundiás alimentados com dietas contendo diferentes relações ED:PD..... 80





## LISTA DE TABELAS

Tabela 1 – Sumário dos estudos sobre exigência dietética em proteína (P) e energia (E) para o jundiá <i>Rhamdia quelen</i> .....	28
Tabela 2 – Composição da dieta referência do experimento de digestibilidade. ....	37
Tabela 3 – Composição centesimal dos ingredientes avaliados no experimento de digestibilidade de nutrientes para juvenis de jundiá, <i>Rhamdia quelen</i> .....	38
Tabela 4 – Perfil de aminoácidos essenciais dos ingredientes avaliados no experimento de digestibilidade de nutrientes para juvenis de jundiá, <i>Rhamdia quelen</i> .....	39
Tabela 5 – Coeficientes de digestibilidade aparente da matéria seca, proteína bruta e energia de diferentes ingredientes proteicos para juvenis de jundiá ( <i>Rhamdia quelen</i> ).....	42
Tabela 6 – Coeficientes de digestibilidade aparente dos aminoácidos essenciais de diferentes ingredientes proteicos para juvenis de jundiá ( <i>Rhamdia quelen</i> ).....	44
Tabela 7 – Aminoácidos digestíveis dos ingredientes avaliados e simulação da percentagem de inclusão para atendimento às exigências (entre parênteses), com os respectivos aminoácidos limitantes .....	45
Tabela 8 – Formulação e composição das dietas experimentais (base na matéria seca).....	69
Tabela 9 – Efeito de diferentes relações energia digestível:proteína digestível (ED:PD) na dieta sobre as variáveis de desempenho zootécnico e econômico de juvenis de jundiá ( <i>Rhamdia quelen</i> ).....	75
Tabela 10 – Composição corporal média (em matéria úmida) e índice viscerossomático de juvenis de jundiá alimentados com diferentes relações energia: proteína (E:P) por 75 dias.....	77



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CA – Conversão alimentar  
CAD – Consumo alimentar diário  
CDA<sub>aae</sub> – Coeficiente de digestibilidade aparente dos aminoácidos essenciais  
CDA<sub>e</sub> – Coeficiente de digestibilidade aparente da energia  
CDA<sub>ms</sub> – Coeficiente de digestibilidade aparente da matéria seca  
CDA<sub>p</sub> – Coeficiente de digestibilidade aparente da proteína  
CHO:L – Relação carboidrato: lipídio  
CMA – Custo médio da alimentação  
CPS – Concentrado proteico de soja  
E:P – Relação energia: proteína  
EA – Eficiência alimentar  
EB – Energia bruta  
ED – Energia digestível  
ED:PD – Relação energia digestível: proteína digestível  
EM – Energia metabolizável  
ENN – Extrativos não nitrogenados  
FCO – Farinha de carne e ossos  
FPH – Farinha de penas hidrolisadas  
FRS – Farinha de resíduo de processamento de salmão  
FSJ – Farelo de soja  
FVA – Farinha de vísceras de aves  
GM – Glúten de milho  
GP – Ganho em peso  
GPD – Ganho em peso diário  
GT – Glúten de trigo  
IC – Índice de custo  
IEE – Índice de eficiência econômica  
IHS – Índice hepatossomático  
IVS – Índice viscerossomático  
MUFA – Ácidos graxos monoinsaturados  
NAT – Nitrogênio amoniacal total  
PB – Proteína bruta  
PD – Proteína digestível  
PF – Peso final  
PUFA – Ácidos graxos poli-insaturados  
SFA – Ácidos graxos saturados  
TCE – Taxa de crescimento específico  
TRP – Taxa de retenção proteica



# SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL.....	23
O jundiá como espécie aquícola continental .....	23
Importância da relação energia:proteína na nutrição de peixes.....	24
Estudos sobre a exigência proteica e energética em dietas para o jundiá.....	25
Problemática para a determinação da exigência proteica e energética na dieta para o jundiá.....	29
OBJETIVOS .....	31
Capítulo I – Digestibilidade de fontes proteicas na dieta para juvenis de jundiá ( <i>Rhamdia quelen</i> ).....	33
Capítulo II– Desempenho de juvenis de jundiá ( <i>Rhamdia quelen</i> ) alimentados com rações práticas, baseadas em nutrientes digestíveis, contendo diferentes relações de energia:proteína .....	63
CONCLUSÕES GERAIS .....	95
CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	97
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DA INTRODUÇÃO .....	99
ANEXO .....	107



# INTRODUÇÃO

## O jundiá como espécie aquícola continental

A piscicultura continental representa o principal segmento da aquicultura brasileira, contribuindo com aproximadamente 474 mil toneladas em 2014 (cerca de 70% da produção total). Desse montante, as tilápias sozinhas corresponderam a 41,9%, enquanto as quase 30 espécies autóctones criadas somaram um pouco mais de 50% da produção (IBGE, 2014). A explicação para tamanha desproporcionalidade refere-se não somente à rusticidade dessas espécies exóticas, mas também pelo conhecimento existente sobre aspectos biológicos e zootécnicos, que permitiram a estruturação de pacotes tecnológicos confiáveis para produção em escala comercial (OSTRENSKY; BORGHETTI; SOTO, 2008).

Muitas das espécies autóctones criadas no Brasil apresentam excelentes qualidades zootécnicas, adaptabilidade às condições climáticas regionais e disponibilidade genética para formação de plantéis de reprodutores. Entretanto, ainda existe carência de informações e de estudos que possibilitem o uso destas espécies em um patamar de plena viabilidade zootécnica e econômica. Um exemplo é o jundiá (*Rhamdia quelen*), espécie promissora para a criação em regiões subtropicais como o sul do Brasil, Argentina e Uruguai, por apresentar rápido crescimento, mesmo nas baixas temperaturas do inverno, adaptar-se bem às condições de confinamento, além de ser um pescado com excelente sabor, isento de espinhos intramusculares (FRACALOSSI; ZANIBONI-FILHO; MEURER, 2002; BARCELLOS *et al.*, 2004; CARNEIRO; MIKOS, 2005; FRACALOSSI *et al.*, 2007). Tantos pontos positivos atraíram a atenção de piscicultores, que até então, encontravam-se restritos à criação das poucas espécies exóticas capazes de tolerar as condições climáticas do sul do Brasil, tais como as carpas. Mesmo com o aumento do interesse na criação de jundiá, a produção ainda é bastante tímida, evidenciando de certa forma, a maneira incipiente como a espécie vem sendo criada e a fragilidade das técnicas utilizadas, fatos estes, que impedem um aumento dos volumes produzidos.

Paralelamente ao interesse dos produtores, o número de estudos com o jundiá vem aumentando consideravelmente nas últimas décadas, o que possibilitou o desenvolvimento de técnicas mínimas para criação. Apesar desses avanços, áreas como a nutrição, ainda carecem de estudos

acerca das exigências nutricionais do jundiá (BALDISSEROTTO; RADÜNZ NETO, 2004; FRACALOSSI; FERNANDES, 2011; RADÜNZ NETO; BORBA, 2013). Isto impede a formulação de rações adequadas para a espécie, sendo as mesmas elaboradas com base nas informações adquiridas em estudos com espécies exóticas, como o bagre do canal (*Ictalurus punctatus*) (BALDISSEROTTO; RADÜNZ NETO; BARCELLOS, 2010). Essa situação tem feito com que produtores utilizem, de forma improvisada, rações comerciais formuladas para peixes onívoros, sem levar em conta as exigências nutricionais específicas do jundiá (CYRINO; FRACALOSSI, 2013). Como resultado, tem-se um menor desempenho zootécnico dos animais e, conseqüentemente, redução da produtividade, aumento do tempo de criação e dos custos de produção.

### **Importância da relação energia:proteína na nutrição de peixes**

Sabe-se que a alimentação corresponde à maior porcentagem das despesas de um empreendimento aquícola, chegando a representar até 70% dos custos operacionais (LOVELL, 1998; CYRINO *et al.*, 2010). Tais custos devem-se principalmente aos elevados níveis de proteína em rações para peixes e o fato deste ser o macronutriente mais caro (LOVELL, 2002). A proteína exerce amplas funções no desenvolvimento dos peixes, por ser o principal componente orgânico dos tecidos (65 a 75%), além de imprescindível na formação de enzimas, hormônios e anticorpos (CAMPBELL, 1991; PORTZ; FURUYA, 2013). Os peixes não possuem exigência em proteína, mas sim em aminoácidos essenciais, obtidos a partir da hidrólise proteica, os quais são utilizados como fonte de energia ou para síntese *de novo* de proteínas envolvidas nos processos de crescimento, reprodução e manutenção de tecidos e órgãos (MILLWARD, 1989; NRC, 2011). A eficiência dessa síntese é definida pelo aminoácido mais limitante, exigindo não somente o atendimento da exigência mínima do mesmo, mas um equilíbrio entre os diferentes aminoácidos essenciais. Dessa forma, a determinação da quantidade mínima e o fornecimento qualitativo da proteína dietética tornam-se fundamentais para assegurar a saúde e o crescimento dos peixes em confinamento. O fornecimento inadequado desse nutriente resultará na interrupção ou diminuição do crescimento e na mobilização de aminoácidos de alguns tecidos para manutenção das funções vitais, resultando em imunodepressão e perda de peso (OLIVA-TELES, 2012). De forma contrária, caso haja excesso



de proteína dietética, o excedente não utilizado no metabolismo proteico será catabolizado, convertido em energia e o resíduo liberado na forma de excretas nitrogenadas para o ambiente (WILSON, 1989). Tal aspecto exige atenção especial, pois poderá contribuir com a poluição de corpos d'água, exigindo seleção criteriosa tanto das fontes proteicas, bem como dos níveis empregados em dietas comerciais (DE SILVA; ANDERSON, 1995).

O nível ótimo de proteína em dietas depende de inúmeros fatores, entre os quais se destacam: o tamanho do peixe (EINEN; ROEM, 1997), a qualidade e a digestibilidade da proteína (FRANCIS; MAKKAR; BECKER, 2001; GLENCROSS; BOOTH; ALLAN, 2007), além da disponibilidade de fontes de energia não proteicas (ROBINSON; WILSON, 1985; STEFFENS, 1996; HEMRE; MOMMSEN; KROGDAHL, 2002). Esse último aspecto refere-se à existência de um delicado balanço entre energia e proteína (E:P) e pelo fato do consumo alimentar ser essencialmente determinado pela energia total disponível na dieta (LEE; PUTNAM, 1973; NRC, 2011). Um excesso de energia não proteica resulta numa alta relação E:P o que pode provocar a diminuição do consumo, antes mesmo que ocorra a ingestão mínima de proteína e de outros nutrientes fundamentais ao crescimento adequado dos peixes. Como consequência, tem-se um aumento da deposição de gordura corporal e perda do rendimento de carcaça, prejudicando a qualidade do produto final. Já uma baixa relação E:P na dieta favorece a utilização da proteína como fonte de energia pelos peixes, encarecendo o custo da dieta e aumentando a excreção nitrogenada, o que pode ser limitante ao crescimento em sistemas de criação intensivos (LOVELL, 1998). Além de consistir num elevado custo econômico, a oxidação da proteína dietética para obtenção de energia é metabolicamente ineficiente (MÉDALE; BLANC; KAUSHIK, 1991). Assim, o emprego de fontes de energia não proteicas dentro de certos limites possibilita a redução da utilização da fração proteica da dieta para fins energéticos, favorecendo a utilização desta para o crescimento (efeito poupador da proteína) e, consequentemente, reduzindo custos e a emissão de poluentes.

### **Estudos sobre a exigência proteica e energética em dietas para o jundiá**

Alguns estudos de dose-resposta foram realizados visando determinar a exigência de proteína na dieta para o jundiá (MEYER; FRACALOSSI; SALHI *et al.*; SIGNOR *et al.*, 2004; MELO *et al.*;

PIEDRAS *et al.*, 2006; REIDEL, 2007; BORBA *et al.*, 2008; REIDEL *et al.*, 2010a; 2010b; COLDEBELLA *et al.*, 2011; MELO *et al.*; TESSARO *et al.*, 2012); no entanto, os valores obtidos divergem bastante entre si (28 a 51% PB) (Tabela 1).

Meyer e Fracalossi (2004) avaliaram os efeitos de diferentes concentrações de proteína bruta (PB) e de energia metabolizável calculada (EM), utilizando dietas semipurificadas, sobre o desempenho de alevinos com peso médio inicial de 1,54 g. Os melhores valores de ganho de peso (GP), eficiência alimentar e proteína corporal foram alcançados quando os animais receberam dietas contendo 37 e 33% de PB e 3200 e 3650 kcal/kg de EM, respectivamente. Resultados similares foram obtidos por Salhi *et al.* (2004), utilizando dietas semipurificadas, onde jundiás (peso médio inicial 0,3 g) alimentados com dietas com 37% PB e 3392 kcal/kg de energia digestível (ED) atingiram uma taxa retenção proteica (TRP) e GP superiores aos demais tratamentos. Signor *et al.* (2004) também observaram maior peso final e deposição proteica em alevinos (peso médio 0,78 g) alimentados com dietas práticas com 38% PB e 3600 kcal/kg de ED. Entretanto, Piedras *et al.* (2006), usando jundiás com peso similar (0,7 g), relataram melhor GP e taxa de crescimento específico (TCE) quando estes foram alimentados com dietas práticas contendo 51% PB e 3400 kcal/kg de ED.

Essas diferenças na exigência proteica dietética são ainda mais discrepantes quando se compara estudos realizados a campo, com peixes maiores e diferentes sistemas de criação. Alevinos mantidos em tanques-rede (peso médio inicial 4,1 g) apresentaram maior GP, TRP e melhor conversão alimentar (CA), quando alimentados com dietas práticas contendo 44% PB e 3500 kcal/kg de ED (BORBA *et al.*, 2008), o maior nível proteico testado no estudo. Já Reidel (2007), utilizando o mesmo sistema de criação, porém com peixes maiores (47,3 g), não observou diferenças significativas de peso final e CA entre os peixes alimentados com dietas práticas contendo 30 ou 35% PB, ambas com 3250 kcal/kg de ED. Da mesma forma, os teores de proteína e de gordura corporal foram similares entre os peixes que receberam os dois níveis proteicos, diferindo apenas no rendimento de carcaça, que foi maior nos peixes alimentados com 30% PB (REIDEL *et al.*, 2010a). O desenvolvimento gonadal e o desempenho reprodutivo destes mesmos peixes foram relatados em outro estudo, sendo as melhores respostas alcançadas nos jundiás alimentados com 35% PB (REIDEL *et al.*, 2010b). Por outro lado, Coldebella *et al.* (2011) observaram um melhor desempenho reprodutivo em jundiás maiores (395-690 g), mantidos por

90 dias em tanques-rede e alimentados com uma dieta prática contendo 28% PB e 4000 kcal/kg de Energia Bruta (EB). No caso específico de jundiás machos (peso médio 35,37 g) criados em tanques em alvenaria, os melhores resultados de crescimento e de reprodução foram alcançados com dietas contendo 30% PB e 2850 kcal/kg de ED (TESSARO *et al.*, 2012). Para essa mesma faixa de peso (32 g), Melo *et al.* (2006; 2012) avaliaram em laboratório o crescimento e a atividade de enzimas digestivas e hepáticas relacionadas ao metabolismo proteico. Essas variáveis mostraram uma relação direta com o aumento da concentração proteica (20 para 41% PB) nas dietas isoenergéticas (4500 kcal/kg de EB), sendo o melhor crescimento atingido no maior nível testado. Entretanto, foi relatada uma tendência à utilização da proteína como fonte energética e maior produção de amônia pelos peixes alimentados com os maiores níveis proteicos (MELO *et al.*, 2006). Segundo os autores, isto ocorreu pelo excesso de proteína e o desequilíbrio da relação carboidrato:proteína das dietas que impediu uma melhor relação E:P.

O efeito poupador de proteína com a adição de fontes de energia não proteica na dieta já foi relatado em outros estudos com o jundiá que testaram diferentes relações E:P. Meyer e Fracalossi (2004) empregando uma relação EM:PB de 11 kcal/g, observaram efeito poupador da proteína de 37 para 33% quando a EM das dietas foi aumentada de 3200 para 3650 kcal/kg. Efeito similar foi observado por Salhi *et al.* (2004), quando a inclusão de lipídios aumentou de 8 para 14%, em dietas contendo o mesmo teor proteico e relações ED:PB de 8 e 9 kcal/g, respectivamente. Já Moro *et al.* (2010), avaliando dietas isonitrogenadas, mas com diferentes relações carboidrato:lipídio, relataram melhor deposição proteica quando a relação foi de 5,3:1 (equivalente à EB:PB = 8 kcal/g, com dietas semipurificadas). Em outro estudo realizado por Gominho-Rosa (2012), a inclusão de 30% de amido e 2% de lipídio nas dietas, a relação EB:PB de 11 kcal/g, permitiu a maior retenção proteica e o menor acúmulo de gordura corporal.

Tabela 1 – Sumário dos estudos sobre exigência dietética em proteína (P) e energia (E) para o jundiá *Rhamdia quelen*<sup>1</sup>

Peso médio inicial (g)	Proteína bruta (%)	Energia digestível (kcal/kg)	Relação E:P (kcal/g)	Principal variável avaliada	Tipo de dieta	Ambiente	Referência
0,30	37	3392 <sup>2</sup>	9	Crescimento	Semipurificada	Laboratório	Salhi <i>et al.</i> , 2004
0,70	51	3400	7	Crescimento	Prática	Laboratório	Piedras <i>et al.</i> , 2006
0,78	38	3600 <sup>3</sup>	9	Crescimento	Prática	Laboratório	Signor <i>et al.</i> , 2004
1,52	32 e 37	3650 e 3200 <sup>4</sup>	11 e 9	Crescimento	Semipurificada	Laboratório	Meyer; Fracalossi, 2004
4,10	44	3500	8	Crescimento	Prática	Campo (tanque-rede)	Borba <i>et al.</i> , 2008
32,60	41	4500 <sup>5</sup>	11	Crescimento	Prática	Laboratório	Melo <i>et al.</i> , 2006; 2012
35,37	30 <sup>6</sup>	2850 <sup>6</sup>	10	Reprodução	Prática	Campo (tanque)	Tessaro <i>et al.</i> , 2012
47,30	30 e 35	3250 <sup>7</sup>	11 e 9	Crescimento/ Reprodução	Prática	Campo (tanque-rede)	Reidel, 2007
395 a 690	28	4000 <sup>5</sup>	14	Crescimento/ Reprodução	Prática	Campo (tanque-rede)	Reidel <i>et al.</i> , 2010a,b Coldebella <i>et al.</i> , 2011

<sup>1</sup>Adaptado de Radünz Neto e Borba (2013). <sup>2</sup>Valor calculado segundo Jobling (1983). <sup>3</sup>Valor calculado com base na exigência energética do bagre do canal (NRC, 1993). <sup>4</sup>Energia metabolizável, valores calculados com base nos valores energéticos dos macronutrientes. <sup>5</sup>Energia bruta. <sup>6</sup>Proteína e energia digestíveis, valores calculados com base na digestibilidade dos ingredientes para o jundiá (OLIVEIRA FILHO; FRACALOSS, 2006). <sup>7</sup>Valor calculado com base na digestibilidade dos ingredientes para o tilápia-do-Nilo (BOSCOLO; HAYASHI; MEURER, 2002; PEZZATO *et al.*, 2002).

## **Problemática para a determinação da exigência e proteica e energética na dieta para o jundiá**

Essa enorme variação entre as exigências para o jundiá deve-se às diferentes condições experimentais, que incluem diversos pesos e fases de desenvolvimento dos peixes, tipo de respostas avaliadas, as taxas de alimentação e tipos de dietas empregadas (semipurificadas e/ou extrusadas, com alta digestibilidade *versus* práticas e/ou peletizadas, com menor digestibilidade). Com exceção dos estudos realizados por Meyer e Fracalossi (2004) e Salhi *et al.* (2004), o restante dos estudos utilizou dietas compostas por ingredientes práticos, variando tanto a taxa de inclusão como a composição nutricional dos mesmos. Todavia, a utilização desse tipo de ingrediente em estudos de exigência proteica deve ser precedida por uma avaliação criteriosa da digestibilidade da energia e nutrientes, incluindo aminoácidos, da palatabilidade e da presença de fatores antinutricionais (GLENCROSS; BOOTH; ALLAN, 2007). Esses aspectos dificilmente foram considerados nos estudos com dietas práticas para o jundiá, dificultando a interpretação dos resultados de exigência.

A primeira fase para avaliação de um ingrediente potencial é a análise da sua composição centesimal, visando entendimento da qualidade nutricional dos nutrientes e da energia (GLENCROSS; BOOTH; ALLAN, 2007). Finalizada essa etapa, o passo seguinte é estimar quanto dos nutrientes e da energia do mesmo serão digeridos e absorvidos pelo peixe. Especificamente para ingredientes proteicos, essas avaliações deverão focar na composição e na digestibilidade dos aminoácidos essenciais, pois nem sempre uma boa digestibilidade proteica representa uma alta disponibilidade dos mesmos (ALLAN *et al.*, 2000). Tal fato está relacionado a variações nos coeficientes de digestibilidade de alguns aminoácidos, sendo necessária a determinação do coeficiente individual para cada um destes (PORTZ & FURUYA, 2013). A partir do conhecimento da digestibilidade aparente dos nutrientes será possível o melhor entendimento do processo de utilização desses ingredientes pela espécie estudada e a formulação de dietas que atendam adequadamente às exigências nutricionais, possibilitando ainda, menores custos econômicos e ambientais.

Para determinação *in vivo* da digestibilidade são utilizados os seguintes métodos: 1) direto: no qual a estimativa é feita a partir da quantidade total de alimento ingerido e de fezes produzidas (balanço de massas) e 2) indireto: onde a estimativa é feita por meio da relação da

concentração de um nutriente ou energia em relação a um indicador inerte presente tanto no alimento, como nas fezes. O método direto é pouco utilizado devido às dificuldades de coleta total das fezes no ambiente aquático e mensuração exata da quantidade de alimento ingerido (DE SILVA; ANDERSON, 1995). Portanto, o método indireto é o mais empregado em estudos de digestibilidade em peixes, variando-se, entre outros fatores, os tipos de marcadores (interno ou externo) e os métodos de coleta de fezes empregados.

A coleta de fezes pode ser feita de várias formas: filtração contínua, sifonagem direta, dissecação, extrusão por compressão abdominal, sucção anal e sedimentação (sistema Guelph). Cada um dos métodos apresenta vantagens e desvantagens (BELAL, 2005). Por exemplo, nos métodos de coleta diretamente nos animais (sucção anal, dissecação e extrusão), há uma menor lixiviação de nutrientes, entretanto, os mesmos exigem manipulação excessiva dos animais e são bastante passíveis de erros, como a coleta de material não digerido e contaminações das amostras por fluidos corporais (CHO; SLINGER, 1979; VENS-CAPPELL, 1985). Já a coleta de fezes por sedimentação tem como principal vantagem o menor manejo dos peixes, o que gera menos respostas ao estresse, além de possibilitar a utilização de peixes de qualquer tamanho ou idade (HARDY, 1997). Como principal desvantagem deste método destaca-se a perda de nutrientes por lixiviação, que pode acarretar superestimativas dos valores de digestibilidade (BELAL, 2005).

No caso do jundiá, por se tratar ainda de uma espécie pouco domesticada, os poucos estudos realizados empregaram o método de coleta por sedimentação (OLIVEIRA FILHO; FRACALOSS, 2006; GOMINHO-ROSA, 2012, RODRIGUES *et al.*, 2012; BERGAMIN *et al.*, 2013). Bergamin *et al.* (2013) analisaram a digestibilidade dos farelos de soja, canola e girassol, quando submetidos ou não a tratamento químico para extração de antinutrientes. Apesar da remoção de boa parcela dos antinutrientes, a digestibilidade dos nutrientes não foi afetada, sendo o melhor aproveitamento proteico obtido no farelo de soja frente aos demais ingredientes. A digestibilidade desse mesmo ingrediente, juntamente com o milho, a quirera de arroz, a farinha de resíduo de peixe e o glúten de milho foi avaliada por Oliveira Filho e Fracalossi (2006). Assim como observado por Bergamin *et al.* (2013), a proteína do farelo de soja foi bem aproveitada pela espécie, estando atrás somente do glúten de milho. Como conclusão geral do estudo, o jundiá apresentou melhor digestibilidade dos ingredientes proteicos em

relação aos energéticos. Conclusões semelhantes foram relatadas por Rodrigues *et al.* (2012), onde a espécie demonstrou menor habilidade em digerir as fontes amiláceas (quirera de arroz e milho moído) e em utilizar a proteína presente nas fontes vegetais, semelhante ao que acontece em espécies carnívoras. Gominho-Rosa (2012) avaliou diferentes fontes de amido (farelo de trigo, farelo de mandioca, milho moído e quirera de arroz) na alimentação de dois onívoros: o jundiá, com intestino curto, e a tilápia-do-Nilo, com intestino longo. Embora ambas as espécies possuam habito onívoro, o jundiá mostrou menor capacidade de digestão, especialmente das fontes com maior teor de amido. A espécie mostrou resposta enzimática adaptativa às diferentes fontes de amido, com variação na atividade da maltase, mas não da amilase. Tais resultados reforçam que o jundiá, apesar de possuir hábito alimentar onívoro, não utiliza tão bem fontes vegetais, ricas em carboidratos, como um onívoro típico como a tilápia. Portanto, a espécie é considerada onívora, porém com tendência à carnivoría (FRACALOSS *et al.*, 2007). Esta peculiaridade torna ainda mais importante a realização de estudos de digestibilidade de ingredientes para esta espécie, já que a mesma não se comporta como um onívoro típico.

Com o exposto, fica evidente a escassez de informações acerca da qualidade de ingredientes para o jundiá, bem como a divergência entre resultados sobre as exigências proteicas e energéticas do jundiá. Desta forma, o presente estudo tem como finalidade, primeiramente, determinar a digestibilidade da matéria seca, energia, proteína e aminoácidos de alguns ingredientes proteicos práticos e, a partir dessas informações, definir a melhor relação E:P para juvenis de jundiá na fase inicial de criação.

## OBJETIVOS

### Objetivo Geral

Aprofundar o conhecimento sobre a exigência proteica na fase inicial de criação do jundiá, utilizando dietas práticas com diferentes concentrações de proteína e energia, formuladas com base em nutrientes digestíveis.

## **Objetivos Específicos**

Determinar os coeficientes de digestibilidade aparente das frações da proteína, energia, matéria seca e aminoácidos essenciais de diferentes ingredientes proteicos de origem animal e vegetal para juvenis de jundiá.

Avaliar a qualidade nutricional dos ingredientes testados, determinando os aminoácidos limitantes de cada fonte proteica e definindo as inclusões para atendimento às exigências estimadas em aminoácidos essenciais da espécie.

Analisar o desempenho zootécnico e econômico, assim como a excreção de nitrogênio amoniacal total de juvenis de jundiás alimentados com dietas práticas, formuladas com base em nutrientes digestíveis, visando à determinação da melhor relação energia:proteína e, conseqüentemente, a concentração proteica adequada para essa fase de crescimento.

Para atingir os objetivos propostos, optou-se por dividir a presente tese em dois capítulos e/ou artigos, a saber:

### **Capítulo I – Digestibilidade de fontes proteicas na dieta para juvenis de jundiá (*Rhamdia quelen*)**

### **Capítulo II– Desempenho de juvenis de jundiá (*Rhamdia quelen*) alimentados com rações práticas, baseadas em nutrientes digestíveis, contendo diferentes relações energia:proteína.**

Os artigos científicos que seguem foram redigidos conforme as normas para submissão aos periódicos *Aquaculture Nutrition* (capítulo I) e *Aquaculture* (capítulo II).



## CAPITULO I

\*Este artigo está formatado de acordo com as normas de publicação da revista *Aquaculture Nutrition*

### **Digestibilidade de fontes proteicas na dieta para juvenis de jundiá (*Rhamdia quelen*)**

Luiz Eduardo Lima de Freitas<sup>1,2</sup>, Débora Machado Fracalossi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Laboratório de Nutrição de Espécies Aquícolas (LABNUTRI),  
Departamento de Aquicultura, Centro de Ciências Agrárias,  
Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina,  
Brasil.

<sup>2</sup>Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Pesca e  
Aquicultura, Palmas, Tocantins, Brasil.

\*Autor para correspondência: Departamento de Aquicultura, Centro de  
Ciências Agrárias, UFSC. Rodovia Ademar Gonzaga, 1346, 88034-001  
Florianópolis, SC, Brasil. Tel.: +55 48 3721-6300. E-mail:  
debora.fracalossi@ufsc.br

## Resumo

Foram determinados os coeficientes de digestibilidade aparente (CDA) dos aminoácidos essenciais (CDA<sub>aae</sub>), proteína (CDA<sub>p</sub>), energia (CDA<sub>e</sub>) e matéria seca (CDA<sub>ms</sub>) das farinhas de resíduo de processamento de salmão (FRS), vísceras de aves (FVA), carne e ossos (FCO) e penas hidrolisadas (FPH), além do concentrado proteico (CPS) e farelo de soja (FSJ) e glúten de milho (GM) e de trigo (GT) para o jundiá. A dieta referência (370 g.kg<sup>-1</sup> proteína bruta) e outras oito dietas teste foram ofertadas aos peixes e as coletas das fezes feitas, a cada 5 h, por sedimentação. Os CDA's<sub>ms</sub> do GT (95,82%) e da FCO (65,82%) alcançaram o maior e o menor valor, respectivamente. Com exceção do CPS (88,94%), os CDA's<sub>e</sub> ficaram acima de 90%, não sendo observadas diferenças (P>0,05) entre os CDA's do GT (95,62%), FCO (93,88%), FVA (93,07%), FRS (92,35%) e FSJ (92,60%). Os CDA's<sub>p</sub> foram superiores (P<0,05) nos ingredientes vegetais e variaram de 100% para o FSJ e GT a 85,43% para a FCO. Os CDA's<sub>aae</sub> refletiram os bons CDA's<sub>p</sub> obtidos nas fontes vegetais, enquanto que, nas fontes animais, a deficiência em alguns aminoácidos prejudicou os CDA's<sub>aae</sub>. O bom aproveitamento dos ingredientes proteicos pelo jundiá condiz com seu hábito onívoro exigente.

**Palavras-chave:** jundiá, digestibilidade, fontes proteicas, aminoácidos.

## 1. Introdução

A criação de peixes nativos correspondeu a mais de 50% do volume produzido em 2014 pela piscicultura continental, o principal segmento da aquicultura brasileira (IBGE, 2014). Apesar disso, a carência de estudos e o desconhecimento de aspectos biológicos e zootécnicos dificultam a criação comercial dessas espécies. Destaca-se a inexistência de dietas comerciais balanceadas para cada espécie, as quais são criadas com rações genéricas, formuladas com base em hábitos alimentares, sem levar em conta exigências nutricionais específicas (CYRINO & FRACALOSSI, 2013).

O jundiá, espécie promissora para a criação em regiões subtropicais como o sul do Brasil, Argentina e Uruguai, é um bom exemplo, já que tem sido produzido com rações formuladas para outras espécies de onívoros, como o bagre americano (*Ictalurus punctatus*). Entretanto, estudos demonstram que o jundiá não se comporta como um onívoro típico, apresentando baixa tolerância a carboidratos e maior exigência proteica (MEYER & FRACALOSSI, 2004; OLIVEIRA FILHO & FRACALOSSI, 2006; MORO *et al.* 2010; GOMINHO-ROSA, 2012).

Para o desenvolvimento de rações comerciais eficientes é fundamental a seleção de ingredientes que atendam adequadamente às exigências nutricionais da espécie alvo. A seleção dos ingredientes deve ser precedida por uma caracterização criteriosa da sua composição nutricional, seguida pela determinação da digestibilidade dos nutrientes e da energia (GLENCROSS *et al.*, 2007). A caracterização deverá abranger, além da composição química, os métodos envolvidos na fabricação, os quais têm influência direta sobre a qualidade e a digestibilidade dos ingredientes. Especificamente para ingredientes proteicos, essa avaliação deverá focar na composição e na digestibilidade dos aminoácidos essenciais, pois nem sempre boa digestibilidade proteica representa alta disponibilidade dos mesmos (ALLAN *et al.* 2000). Tal fato está relacionado a variações nos coeficientes de digestibilidade de alguns aminoácidos, sendo necessária a determinação do coeficiente individual para cada um destes (PORTZ & FURUYA, 2013).

Entretanto, a maioria dos estudos realizados objetiva somente a determinação da digestibilidade proteica, existindo poucas referências sobre a digestibilidade aminoacídica dos ingredientes pelas espécies.

No caso específico do jundiá, os únicos estudos publicados com ingredientes proteicos determinaram a digestibilidade da proteína (OLIVEIRA FILHO & FRACALOSSI, 2006; BERGAMIN *et al.* 2013). Dessa forma, o presente estudo objetiva a determinação dos coeficientes de digestibilidade aparente das frações proteica, energética, matéria seca e de aminoácidos essenciais de diferentes ingredientes de origem animal e vegetal para juvenis de jundiá.

## 2. Material e métodos

A digestibilidade das farinhas de resíduos de processamento de salmão (FRS), de vísceras de aves (FVA), de carne e ossos (FCO) e de penas hidrolisadas (FPH), além do concentrado proteico de soja (CPS), farelo de soja (FSJ) e glúten de milho (GM) e de trigo (GT), foram analisados para o jundiá, em um delineamento em blocos casualizados, com três repetições no tempo.

Uma dieta referência (Tabela 2) foi formulada para atender às exigências proteicas ( $370 \text{ g.kg}^{-1}$  proteína bruta) (MEYER & FRACALOSSI, 2004) e de lisina (MONTES-GIRAO & FRACALOSSI, 2006) para o jundiá. Para os demais aminoácidos e outras exigências nutricionais ainda não definidas, foram empregadas aquelas do bagre americano, espécie com hábito e fisiologia alimentar similares às do jundiá (NRC, 2011). A partir da dieta referência, outras oito dietas experimentais foram confeccionadas ( $699 \text{ g.kg}^{-1}$  da dieta referência,  $300 \text{ g.kg}^{-1}$  de um ingrediente teste e  $1 \text{ g.kg}^{-1}$  do óxido de ítrio) (Tabelas 3 e 4).

Para a fabricação das dietas, primeiramente os ingredientes secos foram moídos (1 mm) num moinho de martelo (MCS350, Moinhos Vieira, Tatuí, Brasil), peneirados manualmente ( $600 \mu\text{m}$ ) e pesados (precisão 0,01 g; modelo YP-B20002, Bioscale, São Paulo, Brasil). Separadamente as misturas vitamínico-minerais foram homogeneizadas com a celulose e então misturadas por 10 min com os demais ingredientes secos numa batedeira planetária industrial para massas (modelo BP-20C G. Paniz, Caxias do Sul, Brasil). Os óleos, homogeneizados com o marcador inerte, foram adicionados à massa e novamente misturados por igual período. O teor de umidade da mistura foi analisado (modelo MB 45, Ohaus, São Paulo, Brasil) e a partir daí, água foi adicionada e misturada por mais 10 min até que a umidade desejada fosse alcançada (entre 20 e 25%). Em seguida, a massa foi submetida à extrusão ( $100^{\circ}\text{C}$ ) numa matriz de 4 mm (modelo MX-40,

Imbramaq, Ribeirão Preto, Brasil). Os péletes resultantes foram secos a 55°C por cerca de 2 h em estufa com circulação e renovação de ar (Modelo MA-035/3, Marconi Equipamentos para Laboratório Ltda, Piracicaba, Brasil), embalados e armazenados a -20°C até a utilização.

Tabela 2 – Composição da dieta referência do experimento de digestibilidade.

<b>Ingrediente</b>	<b>g.kg<sup>-1</sup></b>
Caseína <sup>1</sup>	333,1
Amido de milho <sup>2</sup>	317,6
Gelatina <sup>3</sup>	105,0
Celulose <sup>4</sup>	98,7
Premix macromineral <sup>5</sup>	55,0
Premix micromineral e vitamínico <sup>6</sup>	30,0
Óleo de soja <sup>7</sup>	20,0
Óleo de palma <sup>8</sup>	20,0
Óleo de fígado de bacalhau <sup>9</sup>	19,3
Óxido de ítrio <sup>10</sup>	1,0
Butil-hidroxi-tolueno <sup>11</sup>	0,3

<sup>1,3,4</sup>Rhoster Indústria e Comércio Ltda (São Paulo, Brasil). <sup>2</sup>Cargill Alimentos S.A. (São Paulo, Brasil). <sup>5</sup>CaHPO<sub>4</sub> 454 g, K<sub>2</sub>SO<sub>4</sub> 297 g, NaCl 174 g, MgSO<sub>4</sub> 75 g. <sup>6</sup>Raguife Indústria e Comércio (São Paulo, Brasil), composição.kg<sup>-1</sup> de produto: ácido fólico 1200 mg, ácido pantotênico 10000 mg, antioxidante 5000 mg, biotina 200 mg, cobalto 80 mg, cobre 3500 mg, colina 100000 mg, ferro 20000 mg, inositol 25000 mg, iodo 160 mg, manganês 10000 mg, niacina 20000 mg, selênio 100 mg, vit. (vitamina) A 2.400.000 UI, vit. B<sub>1</sub> 4000 mg, vit. B<sub>2</sub> 4000mg, vit. B<sub>6</sub> 3500, vit. B<sub>12</sub> 8000 mg, vit. B<sub>2</sub> 4000 mg, vit. B<sub>6</sub> 3500 mg, vit. C 60000 mg, vit. D<sub>3</sub> 600.000 UI, vit. E 30.000 UI, vit. K<sub>3</sub> 3000 mg, zinco 24000 mg. <sup>7</sup>Bunge Alimentos (São Paulo, Brasil). <sup>8</sup>Companhia Refinadora da Amazônia (Belém, Brasil). <sup>9</sup>Delaware Ltda (Porto Alegre, Brasil). <sup>10</sup>Sigma-Aldrich (São Paulo, Brasil). <sup>11</sup>Emfal (Minas Gerais, Brasil).

Tabela 3 – Composição centesimal dos ingredientes avaliados no experimento de digestibilidade de nutrientes para juvenis de jundiá, *Rhamdia quelen*.

Fração	Ingredientes (g.kg <sup>-1</sup> na matéria seca) <sup>1</sup>							
	Farinha Resíduos Salmão	Farinha Vísceras Aves	Farinha Carne Ossos	Farinha Penas Hidrolisadas	Concentrado Proteico Soja	Farelo Soja	Glúten Milho	Glúten Trigo
Matéria seca	923,20	972,30	955,50	976,50	925,60	885,40	923,70	891,00
Proteína bruta	625,60	624,50	449,40	845,00	602,20	478,80	631,60	744,30
Extrato etéreo	120,20	113,40	141,90	65,80	13,10	15,80	22,00	15,00
Cinzas	172,40	161,20	379,10	21,80	70,10	66,30	8,10	9,40
FDN <sup>2</sup>	NA <sup>3</sup>	NA	NA	NA	29,40	91,90	122,40	16,10
Energia bruta (kJ.g <sup>-1</sup> )	20,53	20,58	15,48	23,76	19,88	19,30	24,19	22,70

<sup>1</sup> Farinha de resíduos do processamento do salmão (Tectron Nutrição Animal, Paraná, Brasil); farinha de vísceras de aves (Doux-Frangosul, Rio Grande do Sul, Brasil); farinha de carne e ossos (Patense, Minas Gerais, Brasil); farinha de penas hidrolisadas (Doux-Frangosul, Rio Grande do Sul, Brasil); concentrado proteico de soja (Importação, Exportação e Indústria de Óleos, Paraná, Brasil); farelo de soja (Bunge Alimentos, São Paulo, Brasil); glúten de milho (Corn Products do Brasil Ingredientes Industriais Ltda, Paraná, Brasil); glúten de trigo (Tectron Nutrição Animal, Paraná, Brasil); <sup>2</sup> Fibra em detergente neutro; <sup>3</sup> Não analisado.

Tabela 4 – Perfil de aminoácidos essenciais dos ingredientes avaliados no experimento de digestibilidade de nutrientes para juvenis de jundiá, *Rhamdia quelen*.

Aminoácido Essencial	Farelo Soja	Ingredientes (g.kg <sup>-1</sup> na matéria seca)								
		Glúten Trigo	Glúten Milho	Concentrado Proteico Soja	Farinha Resíduos Salmão		Farinha Visceras Aves	Farinha Carne Ossos	Farinha Penas Hidrolisadas	
Arginina	35,0	27,2	20,7	43,8	36,9	42,4	30,8	57,1		
Fenilalanina	24,4	38,2	38,3	30,4	23,9	22,6	13,8	39,4		
Histidina	12,8	15,1	12,7	15,5	13,3	12,9	7,2	6,6		
Isoleucina	21,7	27,1	25,2	27,3	24,1	21,8	11,1	39,3		
Leucina	36,6	51,9	99,9	46,2	43,6	40,5	23,9	67,2		
Lisina	29,0	12,5	11,1	35,9	42,7	34,9	20,6	15,5		
Metionina	6,4	11,9	14,6	7,9	17,2	11,4	5,1	4,3		
Treonina	18,7	19,0	21,5	23,3	25,6	22,5	12,7	38,0		
Valina	22,7	29,6	29,1	28,2	29,8	27,0	17,5	61,1		

Grupos de dez juvenis de jundiá (peso médio  $160,50 \pm 21,46$  g, densidade  $0,8 \text{ kg.m}^{-3}$ ) foram estocados em nove tanques cilíndrico-cônicos (200-L), conectados a um sistema de recirculação de água, equipado com biofiltro e filtros mecânicos, com taxa de renovação de água de cerca de  $1,5\text{-L min}^{-1}$ . A água era mantida sob constante aeração e temperatura controlada. O monitoramento diário das variáveis indicadoras da qualidade de água era realizado com auxílio de uma sonda multiparâmetros (YSI professional plus, Ohio, Estados Unidos). Ao longo do experimento as médias de temperatura ( $25,70 \pm 0,40^\circ\text{C}$ ), de oxigênio dissolvido ( $6,33 \pm 0,42 \text{ mg.L}^{-1}$ ), de salinidade ( $2,16 \pm 0,58 \text{ g.L}^{-1}$ ), de pH ( $6,70 \pm 0,27$ ) mantiveram-se uniformes e dentro da faixa ótima para crescimento do jundiá (BALDISSEROTTO & SILVA, 2004).

Os peixes foram aclimatados por duas semanas às dietas e condições experimentais e, após esse período, iniciou-se a coleta de fezes. A alimentação era fornecida até saciedade aparente, duas vezes ao dia (10:00 e 16:00 h). Após a última alimentação, os tanques eram limpos e 70% da água renovada. Tal procedimento visava à eliminação de restos de ração e outras possíveis contaminações. Após a limpeza, os tubos de coleta (50-mL) eram acoplados ao fundo dos tanques e imersos em recipientes térmicos com gelo, a fim de minimizar a atividade microbiana. As fezes eram coletadas (23:00, 4:00 e 9:00 h), centrifugadas por 5 min a  $1150 \times g$ , armazenadas ( $-20^\circ\text{C}$ ) e liofilizadas (série LV, Terroni, São Carlos, Brasil) até a realização das análises químicas.

Os ingredientes, as dietas experimentais e as fezes foram analisadas de acordo com metodologias descritas pela *Association of Official Analytical Chemists* (AOAC, 1999). A matéria seca foi obtida por meio da secagem em estufa a  $105^\circ\text{C}$  até peso constante, método 950.01. A matéria mineral (cinzas), por incineração a  $550^\circ\text{C}$ , método 942.05. O extrato etéreo, por extração em éter (Soxhlet), após hidrólise ácida, método 920.39C. A proteína bruta, por Kjeldahl ( $\text{N} \times 6,25$ ), método 945.01. A energia foi analisada em bomba calorimétrica (PARR 6200, Parr Instrument Company, Illinois, Estados Unidos) pelo método de Potter & Matterson (1960) e as fibras por digestão em detergente neutro pelo método Van Soest & Robertson (1993). As análises dos aminoácidos foram realizadas por hidrólise ácida e cromatografia de troca iônica (HPLC) em parceria com a empresa Evonik Degussa Brasil Ltda. A análise de ítrio foi feita pelo Instituto de Tecnologia de Alimentos (ITAL, Campinas, SP) por meio de espectrometria de



emissão atômica por plasma acoplado indutivamente (ICP-OES), após digestão com ácido nítrico a 180°C, durante 48 h.

Os coeficientes de digestibilidade aparente (CDA's) da matéria seca, energia, proteína e aminoácidos foram determinados pelas seguintes equações:

Para as dietas (CHO & SLINGER, 1979):

$$CDA(\%) = 100 - \left[ 100 \times \frac{\% \text{marcador dieta}}{\% \text{marcador fezes}} \times \frac{\% \text{nutriente ou energia fezes}}{\% \text{nutriente ou energia dieta}} \right]$$

Para os ingredientes testados (BUREAU *et al.* 1999):

$$CDAI(\%) = CDADe + \left[ (CDADe - CDARef) \times \left( \frac{0,7 \times NRef}{0,3 \times NI} \right) \right]$$

Onde: I: ingrediente; De: dieta experimental; Ref: dieta referência; N<sub>Ref</sub>: nutriente (%) ou energia na dieta referência; N<sub>I</sub>: nutriente (%) ou energia no ingrediente.

Foram realizados testes para verificação da normalidade e homocedasticidade dos dados. Em seguida, os mesmos foram submetidos à Análise de Variância Univariada (ANOVA) e ao teste de *Kruskal Wallis* para a comparação das médias e determinação das diferenças estatísticas entre os tratamentos. O teste a posteriori de Tukey HSD foi utilizado para examinar as diferenças estatísticas individuais entre tratamentos, quando observadas diferenças estatísticas ao nível de significância de 5%.

### 3. Resultados

Os coeficientes de digestibilidade aparente da matéria seca ( $CDA_{ms}$ ), energia ( $CDA_e$ ) e proteína ( $CDA_p$ ) dos ingredientes testados são apresentados na Tabela 5.

Os  $CDA_{ms}$  das fontes proteicas testadas variaram de 65,82% a 95,82%. O glúten de trigo apresentou o maior  $CDA_{ms}$  e a farinha de carne e ossos, o menor ( $P<0,05$ ). As outras fontes proteicas apresentaram  $CDA_{ms}$  intermediários e não diferiram significativamente entre si.

Os  $CDA's_e$  ficaram acima de 90% para todas as fontes proteicas, exceto para o concentrado proteico de soja, cuja digestibilidade energética foi significativamente menor que das demais fontes. Como observado para o  $CDA_{ms}$ , o glúten de trigo atingiu o maior  $CDA_e$ .

Tabela 5 – Coeficientes de digestibilidade aparente da matéria seca, proteína bruta e energia de diferentes ingredientes proteicos para juvenis de jundiá (*Rhamdia quelen*)<sup>1</sup>.

Ingrediente	Matéria Seca	Energia Bruta	Proteína Bruta
		(%)	
Farinha de Resíduos de Salmão	82,74±1,06ab	92,35±0,66abc	93,49±0,21bc
Farinha de Visceras de Aves	86,10±0,21ab	93,07±0,16ab	95,25±0,28abc
Farinha de Carne Ossos	65,82±0,20b	93,88±2,23ab	86,95±1,53c
Farinha de Penas Hidrolisadas	93,47±2,01ab	91,56±1,52bc	96,58±0,53abc
Concentrado Proteico de Soja	84,26±0,77ab	88,94±0,56c	98,49±0,45abc
Farelo de Soja	88,04±0,98ab	92,60±0,68ab	101,00±0,25a
Glúten de Milho	91,85±0,63ab	91,36±0,46bc	97,63±0,26abc
Glúten de Trigo	95,82±0,05a	95,62±0,04a	100,2±0,18ab

<sup>1</sup>Valores representam média ± erro padrão para três repetições. Médias com letras iguais na mesma coluna não diferem entre si ( $P>0,05$ ).

Os melhores  $CDA's$  para proteína foram obtidos nos ingredientes de origem vegetal, sendo que o farelo de soja e o glúten de trigo alcançaram 100% de aproveitamento, seguidos pelo concentrado proteico de soja e o glúten de milho. Entre as fontes proteicas de origem animal, os maiores  $CDA's_p$  foram alcançados pela farinha de penas

hidrolisadas, porém sem diferença significativa em relação às farinhas de vísceras de aves e de resíduos de processamento de salmão. Já o pior CDA<sub>p</sub>, apresentado pela farinha de carne e ossos, reflete a baixa digestibilidade dos aminoácidos nesta fonte proteica (Tabela 6).

Essa relação entre a digestibilidade proteica e a aminoacídica também foi observada nos ingredientes vegetais, onde os altos CDA's<sub>p</sub> resultaram nos melhores CDA's<sub>aac</sub>. O farelo de soja apresentou os maiores CDA's para todos os aminoácidos avaliados. Com exceção da lisina para o glúten de trigo e da leucina, treonina e valina para o concentrado proteico de soja, ambos os ingredientes apresentaram CDA's<sub>aac</sub> similares ao farelo de soja. Já para o glúten de milho, somente o CDA da lisina ficou abaixo de 90%, enquanto os CDA's da arginina, fenilalanina, isoleucina, leucina e metionina foram elevados e significativamente semelhantes àqueles registrados no glúten de trigo.

Para as fontes proteicas de origem animal, as farinhas de resíduos do processamento do salmão e de vísceras de aves apresentaram os melhores CDA's<sub>aac</sub>, não diferindo significativamente do farelo de soja para os aminoácidos: arginina, fenilalanina e isoleucina (Tabela 6). Entretanto, a farinha de carne e ossos apresentou os piores CDA's<sub>aac</sub>, sendo que todos os valores ficaram abaixo de 90%. Já a farinha de penas hidrolisadas teve um bom aproveitamento e atingiu CDA's<sub>aac</sub> intermediários entre as fontes animais avaliadas. Cabe ressaltar, porém, que os CDA's<sub>aac</sub> da lisina e metionina foram inferiores neste ingrediente, quando comparados aos outros aminoácidos essenciais.

Com base nos CDA's<sub>aac</sub> foram calculados os aminoácidos digestíveis para cada ingrediente (Tabela 7). A partir dos novos valores foram estimados os percentuais mínimos de inclusão para cada ingrediente de modo a atender às exigências em aminoácidos essenciais para o jundiá com uma dieta contendo 330 g.kg<sup>-1</sup> de proteína digestível (MEYER & FRACALOSS, 2004). Considerando que somente a exigência em lisina encontra-se definida para o jundiá (MONTES-GIRAO & FRACALOSS, 2006), utilizou-se para fins de comparação as exigências ajustadas do bagre do canal para os demais aminoácidos (NRC, 2011).

Tabela 6 - Coeficientes de digestibilidade aparente dos aminoácidos essenciais de diferentes ingredientes proteicos CV para juvenis de jundiá, *Rhamdia quelen*.

Aminoácido Essencial	Farelo Soja	Glúten Trigo	Glúten Milho	Concentrado Proteico Soja	Farinha Visceras Aves	Farinha Resíduo Salmão	Farinha Carne e Ossos	Farinha Penas Hidrolisadas
	(%)							
Arginina	99,61± 0,13a	98,93± 0,09ab	95,52± 0,33ab	98,99± 0,28ab	94,58± 0,12ab	95,46± 0,23ab	87,39± 1,11b	95,17± 0,37ab
Fenilalanina	98,40± 0,26a	97,90± 0,15ab	96,12± 0,13abc	95,11± 0,52abc	90,26± 0,37bc	91,38± 0,56abc	89,91± 1,30c	94,22± 0,68abc
Histidina	99,93± 0,54a	98,24± 0,47ab	93,49± 0,46bcd	97,13± 1,04abc	93,91± 0,65bcd	92,06± 0,84cd	89,17± 2,27d	90,96± 2,26d
Isoleucina	100,06± 0,35a	97,69± 0,24ab	93,68± 0,36abc	95,83± 0,66abc	88,87± 0,60abc	87,41± 1,18bc	76,90± 1,83c	93,73± 0,83abc
Leucina	98,31± 0,31a	98,12± 0,16a	96,73± 0,17ab	94,71± 0,51bc	91,90± 0,36d	93,08± 0,83cd	88,91± 1,21e	93,31± 0,74cd
Lisina	99,89± 0,29a	94,81± 0,63b	89,86± 1,63cd	97,35± 0,80ab	93,51± 0,27bc	93,71± 0,59bc	86,25± 1,84d	85,84± 1,61d
Metionina	100,03± 0,59a	97,26± 0,32ab	95,24± 0,18abc	97,18± 0,91ab	92,76± 0,36bc	91,91± 0,54cd	86,28± 2,22de	84,90± 2,49e
Treonina	98,58± 0,46a	97,47± 0,38a	92,82± 0,42bc	93,96± 0,85b	90,52± 0,48c	90,76± 0,56c	84,63± 1,92d	90,89± 0,93bc
Valina	99,27± 0,38a	97,72± 0,20a	93,70± 0,37b	93,55± 0,72b	90,10± 0,46c	90,38± 1,03c	84,99± 1,34d	92,70± 0,75bc

<sup>a</sup>Valores representam média ± erro padrão para três repetições. Médias com letras iguais na mesma linha não diferem entre si (P>0,05).

Tabela 7 – Aminoácidos digestíveis<sup>1</sup> dos ingredientes avaliados e simulação da percentagem de inclusão para atendimento às exigências (entre parênteses), com os respectivos aminoácidos limitantes.

Aminoácido Essencial	Exigências <sup>2</sup>	Farelo Soja	Glúten Trigo	Conc. Proteico Soja	Glúten Milho	Farinha Resíduos Salmão	Farinha Vísceras Aves	Farinha Penas Hidrolisadas	Farinha Carne Ossos
Arginina	13,7	34,9 (39)	26,9 (51)	19,8 (32)	43,4 (69)	35,2 (39)	40,1 (34)	54,3 (25)	26,9 (51)
Fenilalanina	8,0	24,0 (33)	37,4 (21)	36,8 (28)	28,9 (22)	21,8 (37)	20,4 (39)	37,1 (22)	12,4 (64)
Histidina	6,8	12,8 (53)	14,8 (46)	11,9 (45)	15,1 (57)	12,2 (56)	12,1 (56)	6,0 (113)	6,4 (106)
Isoleucina	9,1	21,7 (42)	26,5 (34)	23,6 (35)	26,2 (39)	21,1 (43)	19,4 (47)	36,8 (25)	8,5 (107)
Leucina	14,8	36,0 (41)	50,9 (29)	96,6 (34)	43,8 (15)	40,6 (36)	37,2 (40)	62,7 (24)	21,2 (70)
Lisina	16,8	29,0 (58)	11,9 (142)	10,0 (48)	34,9 (168)	40,0 (42)	32,6 (51)	13,3 (126)	17,8 (95)
Metionina	6,8	6,4 (106)	11,6 (59)	13,9 (89)	7,7 (49)	15,8 (43)	10,6 (64)	3,7 (186)	4,4 (155)
Treonina	8,0	1,84 (43)	18,5 (43)	20,0 (37)	21,9 (40)	23,2 (34)	20,4 (39)	34,5 (23)	10,7 (74)
Valina	9,1	22,5 (40)	28,9 (31)	27,3 (34)	26,4 (33)	26,9 (34)	24,3 (37)	56,6 (16)	14,9 (61)
AAE limitante									
		metionina	lisina	metionina	lisina	histidina	metionina	metionina	metionina

<sup>1</sup>Expressos em g.kg<sup>-1</sup>. <sup>2</sup>Exigências em aminoácidos essenciais, exceto para lisina (MONTES-GIRAO & FRACALOSSI, 2006), para o bagre do canal (NRC, 2011), espécie também onívora com intestino curto, similar ao jundiá. Os valores foram ajustados para uma dieta contendo 330 g.kg<sup>-1</sup> de proteína digestível (MEYER & FRACALOSSI, 2004).

#### 4. Discussão

Independentemente do tipo de ingrediente, o jundiá aproveitou bem tanto as fontes proteicas vegetais, como as animais, alcançando elevados CDA's, em especial para a proteína e os aminoácidos avaliados.

Nos ingredientes vegetais, a alta digestibilidade parece ter relação com o processamento da matéria prima para a redução de fatores indesejáveis à nutrição de organismos aquáticos (DREW *et al.* 2007; HARDY, 2010). É o caso dos concentrados proteicos que são obtidos pela moagem, tostagem e lavagem das matérias-primas, o que aumenta sua concentração proteica e a remoção de boa parcela de fibras, carboidratos e fatores antinutricionais (GATLIN *et al.* 2007; HARDY, 2010). Tais fatores afetam negativamente a digestibilidade, em especial da matéria seca e da energia bruta em ingredientes vegetais (SUGIURA *et al.* 1998; WU *et al.* 2006; ZHOU & YUE, 2011). Isso poderia explicar os CDA's<sub>ms</sub> e CDA's<sub>e</sub> obtidos para o concentrado proteico de soja e para os glúten de trigo e de milho. Corroborando os resultados aqui encontrados, outros estudos observaram CDA's  $\geq 85\%$  destes ingredientes para peixes e associaram os resultados aos baixos teores de fibras e de carboidratos (SUGIURA *et al.* 1998; ALLAN *et al.* 2000; BORGHESI *et al.* 2009; CHOWDHURY *et al.* 2012). No caso específico do glúten de milho, o CDA<sub>ms</sub> (91,85%) e o CDA<sub>e</sub> (91,36%) registrados no presente estudo foram superiores aos alcançados por Oliveira Filho e Fracalossi (2006) com juvenis de jundiá (CDA<sub>ms</sub> 82,20% e CDA<sub>e</sub> 88%). Essas diferenças podem estar associadas, entre outros fatores, ao processo de fabricação das dietas. O uso de extrusão na fabricação das dietas no presente estudo pode ter favorecido a gelatinização dos carboidratos, em especial do amido, proporcionando uma melhora da digestibilidade da matéria seca e da energia bruta. A combinação da umidade, pressão, temperatura e corte mecânico do processo de extrusão promove alterações na estrutura do amido tornando-o mais digestível (BERGOT & BREQUE, 1983; GLENCROSS *et al.* 2011). Alguns estudos já demonstraram o efeito benéfico da extrusão e/ou da gelatinização do amido sobre a digestibilidade de nutrientes para a truta arco-íris (*Oncorhynchus mykiss*) (BERGOT & BREQUE, 1983; GLENCROSS *et al.* 2011).

De maneira semelhante, o processo de extrusão parece ter também contribuído com a digestibilidade do farelo de soja. Embora esse ingrediente possua os maiores teores de fibras e de carboidratos

entre as fontes testadas, ele foi igualmente bem digerido pelo jundiá. O uso do farelo tostado e desengordurado empregado no presente estudo possui maior digestibilidade frente a outros tipos de farelo de soja (ZHOU *et al.* 2004). Tal característica, associada à moagem e ao peneiramento, assim como o uso de extrusão para fabricação das dietas pode ter permitido uma melhora significativa na digestibilidade da matéria seca e da energia bruta deste ingrediente. Esse efeito foi anteriormente relatado quando da avaliação do mesmo tipo de farelo, em dietas extrusadas, na alimentação de um carnívoro marinho (WU *et al.* 2006). Os CDA's para matéria seca e energia do presente estudo foram superiores aos relatados quando o farelo de soja foi avaliado para o jundiá em dietas peletizadas (73,3 e 76,5%, respectivamente) (OLIVEIRA FILHO & FRACALOSSO, 2006).

No caso da digestibilidade energética das fontes animais, os CDA's<sub>e</sub> variaram entre 91,56 a 93,88% e apresentaram uma relação direta com os teores de lipídios dos ingredientes. Os lipídios, e seus constituintes, os ácidos graxos, são bem digeridos pelos peixes, sendo essenciais para o provimento de energia para as funções metabólicas (TOCHER, 2003). No presente estudo, a melhor digestibilidade da energia (CDA<sub>e</sub> 93,88%) foi alcançada na farinha de carne e ossos, rica em lipídios (14,19% EE) e em ácidos graxos saturados. Apesar desse resultado positivo, algumas evidências apontam que a digestibilidade lipídica pode ser prejudicada em ingredientes ricos em ácidos graxos saturados (SFA) (CHO & KAUSHIK, 1990). No entanto, a combinação de ingredientes com essas características com fontes ricas em ácidos graxos mono (MUFA) e poli-insaturados (PUFA) aumenta a digestibilidade de lipídios em peixes (CHO & SLINGER 1979; BUREAU *et al.* 1999; BORGHESI *et al.* 2009). Nesse sentido, embora os elevados níveis de SFA na farinha de carne e ossos, a combinação de diferentes óleos (fígado de bacalhau, soja e palma) pode ter favorecido um balanço de MUFA e PUFA nas dietas experimentais e, consequentemente, um melhor aproveitamento desse ingrediente pelo jundiá. Da mesma forma, essa mistura de óleos possivelmente também contribuiu com a digestibilidade das farinhas de penas hidrolisadas (6,58% EE), de vísceras de aves (11,34% EE) e de resíduos de peixes (12,02% EE) que continham menores teores de lipídios e de SFA frente à farinha de carne e ossos. Os CDA's<sub>e</sub> obtidos para o jundiá encontram-se dentro das faixas observadas em outros estudos com farinhas de penas hidrolisadas (80 a 100%) (BUREAU *et al.* 1999; ALLAN *et al.* 2000; LEE, 2002; ZHOU *et al.* 2004; LIU *et al.* 2009; KITAGIMA &

FRACALOSS, 2011), vísceras de aves (85 a 91%) (BUREAU *et al.* 1999; PORTZ & CYRINO, 2004; ZHOU *et al.* 2004; BORGHESI *et al.* 2009; LIU *et al.* 2009; KITAGIMA & FRACALOSS, 2011; SILVA *et al.* 2013), resíduos do processamento de peixes (91 a 99%) (ALLAN *et al.* 2000; GLENCROSS *et al.* 2005; LIU *et al.* 2009; ZHOU & YUE, 2011) e farinha de carne e ossos (83 a 94%) (BUREAU *et al.* 1999; ZHOU *et al.* 2004; ZHOU & YUE, 2011; SILVA *et al.* 2013).

A digestibilidade proteica dos ingredientes vegetais variou entre 97,63 a 101%, sendo os maiores valores alcançados para o farelo de soja (101%) e o glúten de trigo (100,2%). Já foram relatados CDA's superiores a 100% para proteína e aminoácidos em outros estudos (MCGOOGAN & REIGH, 1996; SUGIURA *et al.* 1998; ROBAINA *et al.* 1999; ALLAN *et al.* 2000; LEE, 2002; TIBBETTS *et al.* 2006; WU *et al.* 2006; GAYLORD *et al.* 2008; DONG *et al.* 2010; GLENCROSS *et al.* 2004, 2005; 2011). Segundo Glencross *et al.* (2007) esses coeficientes equivalem a 100% de aproveitamento do nutriente, podendo também consistir em pequenos erros analíticos, como misturas inadequadas do marcador na dieta, ou até mesmo problemas causados pela lixiviação e/ou interação de nutrientes entre o ingrediente teste e a dieta referência.

A lixiviação de nutrientes pode ser minimizada com a coleta das fezes diretamente no animal por sucção anal, dissecação do intestino ou extrusão das fezes por pressão abdominal. Entretanto, esses métodos exigem manipulação excessiva dos animais, sendo bastante passíveis de erros, tais como a coleta de material não digerido e contaminações das amostras por fluidos corporais (CHO & SLINGER, 1979). Como o jundiá ainda é uma espécie pouco domesticada, no presente estudo optou-se pela coleta de fezes por sedimentação, uma vez que o método exige pouco manejo dos peixes, gerando menos respostas ao estresse. No entanto, como principal desvantagem desse método destaca-se a perda de nutrientes por lixiviação, que pode acarretar superestimativas dos valores de digestibilidade dos coeficientes (ALLAN *et al.* 2000; GLENCROSS *et al.* 2005; 2007). Para contornar tal risco, as coletas de fezes do presente estudo foram realizadas a cada 5 h, obedecendo aos tempos de trânsito intestinal estipulados para o jundiá (OLIVEIRA FILHO, 2005).

Com relação a possíveis erros na mistura do marcador, a inclusão do óxido de ítrio nas dietas experimentais baseou-se no estudo realizado por Ward *et al.* (2005), sendo que a concentração esperada de ítrio (0,1%) foi confirmada nas análises posteriores. Apesar de todos esses



cuidados, não se descarta a possibilidade de lixiviação e/ou de interação entre nutrientes, uma vez que esses fatores não foram mensurados.

Não obstante a essas hipóteses, a digestibilidade proteica do farelo de soja para jundiá foi similar a da truta arco íris (CDA<sub>p</sub> 99%) (GLENCROSS *et al.* 2004) e elevada (> 90%) como já anteriormente relatada para o jundiá (OLIVEIRA FILHO & FRACALOSS, 2006), perca prateada (*Bidyanus bidyanus*) (ALLAN *et al.* 2000), “black bass” (*Micropterus salmoides*) (PORTZ & CYRINO, 2004), dourado (*Salminus brasiliensis*) (BORGHESI *et al.* 2009) e o salmão do Atlântico (*Salmo salar*) (BURR *et al.* 2011). As diferenças entre CDA's<sub>p</sub> descritas nos estudos estão atreladas a vários fatores tais como: 1) a variedades de cultivares e de tipos de farelos que exercem influência sobre a composição centesimal; 2) a capacidade digestiva das espécies que está relacionada à fase de vida e o hábito alimentar (sistema digestório) e 3) os processos empregados na fabricação das dietas, os quais promovem vários benefícios a digestibilidade como a quebra de proteínas complexas, a gelatinização do amido e a inativação de antinutrientes. Com relação a esse último ponto, Cheng & Hardy (2003) observaram um efeito positivo do processo de extrusão sobre a digestibilidade proteica do farelo de soja em trutas arco íris, o que também poderia reforçar os resultados obtidos para jundiá.

Além dos aspectos listados, as distintas condições experimentais envolvendo diferentes métodos para coletas de fezes e para cálculos da digestibilidade, tipos de dietas experimentais (purificadas vs práticas) e de marcadores influenciam o aproveitamento dos ingredientes, impossibilitando comparações diretas entre os estudos. Como exemplo, Sugiura *et al.* (1998) observaram CDA's  $\geq 100\%$  para alguns ingredientes vegetais e atribuíram os resultados ao uso do óxido de ítrio que seria menos absorvível pelos peixes e possibilitaria CDA's<sub>p</sub> superiores ao óxido de cromo.

O CDA<sub>p</sub> obtido para o glúten de trigo (100%) foi idêntico aos obtidos para os carnívoros salmão do Atlântico e do Pacífico (*Oncorhynchus kisutch*) (SUGIURA *et al.* 1998; STOREBAKKEN *et al.* 2000), robalo europeu (*Dicentrarchus labrax*) (ROBAINA *et al.* 1999), perca prateada (ALLAN *et al.* 2000) e bacalhau do Atlântico (*Gadus morhua*) (TIBBETTS *et al.* 2006). Segundo esses autores, o elevado aproveitamento do glúten de trigo deve-se principalmente ao seu método de fabricação, o qual garante alta disponibilidade de aminoácidos, ausência de antinutrientes e de fatores redutores de palatabilidade. Tais aspectos podem ter permitido não somente o

aproveitamento total da fração proteica, mas também de 95% da parcela energética do glúten de trigo como observado em parte dos estudos citados.

Embora existam algumas diferenças em relação ao glúten de trigo, os processos para fabricação também favoreceram uma melhor digestibilidade do concentrado proteico de soja e do glúten de milho pelo jundiá. Os CDA's da proteína e da energia bruta para ambos os ingredientes foram elevados (> 95%) e semelhantes aos da farinha de resíduos do processamento do salmão. Para o concentrado proteico de soja, um dos principais benefícios gerados pelos processos de fabricação é a inativação de antinutrientes, presentes no grão de soja e danosos à nutrição animal (DREW *et al.* 2007). A digestibilidade proteica (98,49%) e energética (88,94%) desse ingrediente pelo jundiá foi próxima às alcançadas em outras espécies. Para truta arco-íris, os CDA's<sub>p</sub> com o concentrado proteico de soja variaram entre 97,9 a 100%, enquanto os CDA's<sub>e</sub> oscilaram entre 85,6 a 95% (GLENCROSS *et al.* 2004; 2005; GAYLORD *et al.* 2008). Já para o salmão do Atlântico, esses valores ficaram entre 90 a 98% para CDA's<sub>p</sub> e de 93 a 100% para CDA's<sub>e</sub> (GLENCROSS *et al.* 2004; CHOWDHURY *et al.* 2012). De forma similar, outros estudos com o concentrado proteico de soja atingiram CDA's<sub>p</sub> e CDA's<sub>e</sub>, respectivamente, de 98,6 e 94,9% para o bacalhau do Atlântico (TIBBETTS *et al.* 2006). Em todos os estudos, a ausência de fatores antinutricionais, bem como os baixos teores de fibras e de carboidratos, foram apontados como determinantes para alta digestibilidade proteica do concentrado proteico de soja.

Para o glúten de milho, a digestibilidade proteica e energética parece estar associada às sucessivas moagens e a tostagem da matéria prima, empregadas no processo de fabricação, as quais permitem a remoção da maior parte dos carboidratos e a gelatinização do amido remanescente, respectivamente (GATLIN *et al.* 2007). Os CDA's proteico e energético observados no presente estudo foram próximos (95 e 88%) aos alcançados em outro estudo com o jundiá (OLIVEIRA FILHO & FRACALOSSO, 2006), confirmando uma boa utilização desse ingrediente pela espécie. Além desse estudo, uma alta digestibilidade proteica e energética para o glúten de milho foi relatada para a truta arco íris (SUGIURA *et al.* 1998; GAYLORD *et al.* 2008), a perca prateada (ALLAN *et al.* 2000), o “black bass” (PORTZ & CYRINO, 2004), o beijupirá (*Rachycentron canadum*) (ZHOU *et al.* 2004), o dourado (BORGHESI *et al.* 2009) e o salmão do Atlântico (BURR *et al.* 2011).

Os CDA's dos aminoácidos dos ingredientes de origem vegetal seguiram a mesma tendência da digestibilidade proteica, como observado por outros autores (ALLAN *et al.* 2000; LEE, 2002; ZHOU *et al.* 2004; WU *et al.* 2006; DONG *et al.* 2010; ZHOU & YUE, 2011). O farelo de soja, maior CDA<sub>p</sub> entre os ingredientes avaliados, apresentou CDA's  $\geq 98\%$  para todos os aminoácidos, com destaque para a metionina e isoleucina, onde a digestibilidade alcançou 100%. Dong *et al.* (2010) observaram um aproveitamento idêntico da metionina para o farelo de soja e atribuíram a alta capacidade da tilápia híbrida (*Oreochromis niloticus* x *O. aureus*) em metabolizar esse aminoácido neste ingrediente. Para os demais aminoácidos, os CDA's<sub>aae</sub> estiveram próximos aos alcançados para a perca prateada (ALLAN *et al.* 2000), o “black bass” (PORTZ & CYRINO, 2004) e o esturjão siberiano (*Acipenser baerii*) (LIU *et al.* 2009). Os CDA's<sub>aae</sub> do glúten de trigo e do concentrado proteico de soja superaram 95% e na sua maioria não apresentaram diferenças significativas em relação ao farelo de soja. As qualidades já mencionadas desses ingredientes, aliadas à boa digestibilidade, justificam sua escolha como potenciais substitutos das farinhas de peixe em dietas para peixes. O glúten de trigo com ou sem suplementação de lisina substitui até 50% da farinha de peixe em dietas para peixes carnívoros, sem causar danos à saúde e/ou ao desempenho zootécnico (DAVIES *et al.* 1997; STOREBAKKEN *et al.* 2000; TIBALDI *et al.* 2003). O mesmo pode-se dizer para o concentrado proteico de soja, que sozinho ou em combinação com outras fontes proteicas pode substituir parcialmente a farinha de peixe em dietas para várias espécies de peixes (DAY & GONZÁLEZ, 2000; FREITAS *et al.* 2011). Ainda que tenha alcançado os menores CDA's<sub>aae</sub> em relação aos demais ingredientes vegetais, o glúten de milho foi igualmente bem digerido pelo jundiá. Esse ingrediente é deficiente em lisina, apresentando o menor teor desse aminoácido entre os ingredientes avaliados e um CDA abaixo de 90%. Apesar disso, os CDA's<sub>aae</sub> alcançados para todos os aminoácidos estiveram dentro das faixas para o “rockfish” (*Sebastes schlegeli*) (LEE, 2002), “black bass” (PORTZ & CYRINO, 2004), beijupirá (ZHOU *et al.* 2004), dourado (BORGHESI *et al.* 2009) e salmões do Atlântico e do Ártico (*Salvelinus alpinus*) (BURR *et al.* 2011).

A utilização de fontes vegetais para organismos aquáticos tem ganhado cada vez mais atenção, uma vez que a produção do principal insumo empregado em dietas para aquicultura (farinha de peixe inteiro) encontra-se limitada, ameaçando a sustentabilidade e o crescimento da

atividade (HARDY, 2010). A dificuldade reside no alto valor biológico desse insumo e na busca de um substituto à altura. No caso dos ingredientes vegetais, são inúmeras as limitações, porém muitas são conhecidas e passíveis de serem contornadas por meio de métodos de processamento, resultando numa ampla variedade de produtos (DREW *et al.* 2007; GATLIN *et al.* 2007; HARDY, 2010). Esses métodos têm assegurado produtos com composição e oferta regulares, o que tem despertado o interesse da indústria e a viabilização de inclusões cada vez maiores em dietas comerciais.

No caso dos ingredientes animais o potencial também é imenso, pois existem vários subprodutos fabricados a partir do abate e do processamento de animais terrestres e marinhos que podem ser empregados em dietas para peixes e camarões. Contudo, muitos desses ingredientes têm como principal limitação a enorme variação em suas composições centesimais. Esse aspecto está relacionado à qualidade da matéria prima e aos processos envolvidos na fabricação das farinhas (PASTORE *et al.* 2013). O CDA<sub>ms</sub> fornece uma estimativa geral da digestibilidade de um ingrediente, sendo uma boa maneira para quantificar a parcela de material indigestível (p.ex.: cinzas) (BRUNSON *et al.* 1997). Os CDA's<sub>ms</sub> dos ingredientes animais variaram bastante e tiveram uma relação inversa com o percentual de cinzas. As farinhas de carne e ossos, de resíduos do processamento do salmão e de vísceras de aves, continham 37,91; 17,24 e 16,12% de cinzas, proporcionando, CDA's<sub>ms</sub> de 65,82; 84,26 e 86,10%, respectivamente. A influência das cinzas sobre a digestibilidade da matéria seca foi relatada em estudos que avaliaram os mesmos ingredientes para outras espécies (ZHOU *et al.* 2004; LIU *et al.* 2009; MASAGOUNDER *et al.* 2009; ZHOU & YUE, 2011). A causa para níveis tão altos de cinzas na farinha de carne e ossos pode estar relacionada ao tipo de matéria-prima (bastante variável) e aos métodos de processamento que, quando mal empregados, prejudicam a qualidade do produto final (PASTORE *et al.* 2013). Diferente dessa situação, o tipo de processamento pode ter favorecido um melhor CDA<sub>ms</sub> (93,47%) para a farinha de penas hidrolisadas (2,14% cinzas). O processo de cocção pressurizada em condições alcalinas permite a hidrólise e um produto com melhor digestibilidade da matéria seca, como também relatado para a truta arco íris (BUREAU *et al.* 1999) e para o bagre do canal (KITAGIMA & FRACALOSS, 2011).

De modo semelhante à digestibilidade da matéria seca, o aproveitamento proteico depende dos procedimentos empregados para

transformação do ingrediente fresco em farinha. A qualidade da proteína depende da composição e da disponibilidade dos aminoácidos, estando estes relacionados às fontes e ao frescor das matérias primas. A partir desses fatores, é possível estabelecer a temperatura, a pressão e os tempos a serem utilizados nas etapas de cozimento, secagem e armazenamento (PASTORE *et al.* 2013). Quando uma dessas técnicas é mal empregada, pode haver sérios prejuízos para a digestibilidade proteica do ingrediente. Os CDA's<sub>p</sub> dos ingredientes de origem animal tiveram uma relação direta com os teores de proteína e inversa com os de cinzas, como já observado em outros estudos (ANDERSON *et al.* 1995; MCGOOGAN & REIGH, 1996; ALLAN *et al.* 2000). Segundo Bellaver & Zanotto (2004), o teor de cinzas é inversamente proporcional ao de proteína e consiste num bom indicador da qualidade proteica de um ingrediente. O alto percentual de cinzas pode representar uma elevada quantidade de resíduos como ossos, cartilagens e tecidos conjuntivos (colágeno) que possuem pouca ou nenhuma digestibilidade pelos peixes. Isso explicaria os baixos CDA<sub>ms</sub> e CDA<sub>p</sub> para a farinha de carne e ossos obtidos no presente estudo. Esse ingrediente apresentou o maior percentual de cinzas, bem como os menores teores de proteína e de alguns aminoácidos (treonina, isoleucina, leucina, valina e fenilalanina) entre os ingredientes avaliados. Os resultados traduzem de certa forma a baixa qualidade da matéria prima e eventuais problemas ocorridos durante a fabricação desse ingrediente. Entre estes, destaca-se o excesso de temperatura durante secagem da farinha que causa danos ao perfil de aminoácidos e à digestibilidade proteica (ANDERSON *et al.* 1995). A lisina é uma das mais afetadas pela temperatura, tendo a sua digestibilidade significativamente reduzida (OPSTVEDT *et al.* 1984). No presente estudo, a farinha de carne e ossos apresentou os menores CDA's<sub>sae</sub> ( $\leq 80\%$ ) para lisina e outros sete aminoácidos frente aos demais ingredientes. Esse resultado, combinado ao elevado teor de cinzas, pode ter influenciado o CDA<sub>p</sub> (86,95%) da farinha de carne e ossos. Apesar disso, o CDA<sub>p</sub> obtido esteve próximo aos da truta arco íris (BUREAU *et al.* 1999), do beijupirá (ZHOU *et al.* 2004), do esturjão siberiano (LIU *et al.* 2009) e do surubim (*Pseudoplatystoma reticulatum*) (SILVA *et al.* 2013). Em relação à digestibilidade dos aminoácidos, os CDA's<sub>sae</sub> encontram-se dentro das faixas observadas para a perca prateada (ALLAN *et al.* 2000), o beijupirá (ZHOU *et al.* 2004) e o esturjão siberiano (LIU *et al.* 2009).

No caso da farinha de penas hidrolisadas, as altas digestibilidades proteica (96,58%) e da matéria seca (93,47%) não são explicadas pela

digestibilidade dos aminoácidos. Notadamente a farinha de penas é conhecida por apresentar deficiências em metionina, lisina e histidina, cujos teores foram analisados e se mostraram entre os menores dos ingredientes testados. Para esses aminoácidos deficientes, a digestibilidade foi de 90,96% para histidina, 85,84% para lisina e 84,9% para a metionina, sendo os dois últimos os menores  $CDA's_{aee}$  entre os ingredientes avaliados. Os demais aminoácidos apresentaram boa digestibilidade ( $CDA's_{aee} \geq 90\%$ ), inclusive sem diferenças significativas entre os ingredientes vegetais e as farinhas de resíduos do processamento do salmão e de vísceras de aves. No caso da farinha de penas hidrolisadas, o  $CDA_p$  esteve muito mais relacionado à qualidade e a composição centesimal do ingrediente em si, do que à digestibilidade dos aminoácidos. Ainda que muitas vezes exista relação entre o  $CDA_p$  e o  $CDA's_{aee}$  faz-se necessário determinar a digestibilidade individual para cada aminoácido essencial, pois nem sempre o mesmo corresponde ao  $CDA_p$ , como foi aqui observado para a farinha de penas hidrolisadas (PORTZ & FURUYA, 2013). Os tipos de hidrólise influenciam diretamente a qualidade e a digestibilidade dessas farinhas, uma vez que boa parte da fração proteica (85 a 90%) encontra-se na forma de queratina, que possui baixa solubilidade e alta resistência à ação de enzimas (NRC, 2011). Para o surubim, a digestibilidade proteica foi bastante comprometida, quando uma farinha de penas com baixa qualidade foi utilizada ( $CDA_p$  19,75%) (SILVA *et al.* 2013). Por outro lado, o uso de farinha de penas hidrolisadas de boa qualidade resultou em  $CDA's_p$  próximos aos encontrados no presente estudo para a perca prateada ( $CDA_p$  92,8%) (ALLAN *et al.* 2000), esturjão siberiano ( $CDA_p$  90,9%) (LIU *et al.* 2009) e bagre do canal ( $CDA_p$  89,83%) (KITAGIMA & FRACALOSSO, 2011). Da mesma forma, os  $CDA's$  obtidos nesses estudos para lisina e os demais aminoácidos foram similares aos do presente estudo.

Diferente dos outros ingredientes animais, as farinhas de resíduos do processamento do salmão e de vísceras de aves apresentaram bom balanço entre digestibilidade proteica e aminoacídica. Essas farinhas apresentaram teores proteicos e equilíbrio entre os nove aminoácidos essenciais o que é altamente desejado para formulação de dietas. Isso se refletiu em  $CDA's_p$  próximos ao da farinha de penas hidrolisadas e em  $CDA's_{aee}$  acima de 90%, com exceção para a isoleucina. A farinha de vísceras de aves do tipo *pet grade*, avaliada neste estudo para o jundiá, possui alta qualidade, composição mais uniforme, sendo isenta de partes com menor qualidade nutricional, como cabeças e pés (BELLAYER &

ZANOTTO, 2004). Os resultados de CDA<sub>p</sub> (95,25%) para esse ingrediente foram semelhantes aos encontrados para o salmão do Atlântico (SUGIURA *et al.* 1998), truta arco-íris (SUGIURA *et al.* 1998; BUREAU *et al.* 1999), dourado (BORGHESI *et al.* 2009) e surubim (SILVA *et al.* 2013). Já a digestibilidade aminoacídica desse ingrediente foi similar aquela relatada para o “black bass” (PORTZ & CYRINO, 2004; MASAGOUNDER *et al.* 2009) e esturjão siberiano (LIU *et al.* 2009).

A farinha de resíduos de salmão usada no presente experimento é produzida a partir de resíduos do processamento do salmão criado no Chile. Tal característica garante um perfil nutricional regular, diferente de outras farinhas fabricadas com resíduos de várias espécies de peixes. Esse último tipo de farinha de resíduos de peixes foi testado na alimentação do jundiá e apresentou baixa digestibilidade proteica (77,7%) e energética (74,8%) (OLIVEIRA FILHO & FRACALOSS, 2006). A farinha utilizada no referido estudo foi fabricada a partir de rejeitos de pesca e continha um elevado teor de cinzas (25,2%) o que pode ter prejudicado a digestibilidade proteica. Diferente dessa situação, o CDA<sub>p</sub> da farinha de resíduos do processamento do salmão do presente estudo (93,49%) foi superior e próximo ao relatado em outros estudos que avaliaram farinhas de resíduos de peixe branco (87 a 95%) (SUGIURA *et al.* 1998; LEE, 2002) e de “menhaden” (89,8 a 95,87%) (MCGOOGAN & REIGH, 1996; SUGIURA *et al.* 1998; GAYLORD *et al.* 2008; LIU *et al.* 2009). Enquanto os CDA's<sub>aac</sub> foram próximos aos observados para a perca prateada (ALLAN *et al.* 2000), o “rockfish” (LEE, 2002), o “black bass” (PORTZ & CYRINO, 2004; MASAGOUNDER *et al.* 2009) e o esturjão siberiano (LIU *et al.* 2009).

Dos ingredientes avaliados, somente o concentrado proteico de soja e as farinhas de vísceras de aves e de resíduos do processamento do salmão poderiam suprir adequadamente as exigências em aminoácidos do jundiá caso fossem empregados como fontes únicas de proteína na dieta. Apesar de esses ingredientes não terem alcançado os maiores CDA's no presente estudo, o equilíbrio no perfil de aminoácidos essenciais permitiu o atendimento adequado das exigências. Entretanto, outras fontes vegetais que foram bem digeridas pelo jundiá, mostraram-se deficientes em metionina, como o farelo de soja, ou em lisina, como os glútenos de trigo e de milho. O mesmo aplica-se para as farinhas de carne e ossos e de penas hidrolisadas, onde alguns aminoácidos limitantes impediram o pleno atendimento das exigências. Assim, a avaliação de um ingrediente não deve levar em conta somente a

composição proximal ou somente os  $CDA's_{aee}$ , pois nem sempre uma alta digestibilidade necessariamente representará alta disponibilidade dos aminoácidos para os peixes (PORTZ & FURUYA, 2013).

Embora parte dos ingredientes avaliados no presente estudo tenham apresentado limitações em aminoácidos digestíveis, isso não descarta a utilização dos mesmos em dietas para o jundiá. O equilíbrio de nutrientes numa dieta é alcançado por meio da combinação de diferentes ingredientes que possam atender às exigências nutricionais da espécie, permitindo o máximo desempenho zootécnico e lucros econômicos. Tal aspecto exige do formulador uma análise, não somente da parte nutricional da dieta, mas também do custo/benefício.

Os resultados obtidos no presente estudo apontam um bom aproveitamento pelo jundiá tanto dos ingredientes vegetais, como dos animais, sendo os primeiros mais bem utilizados pela espécie. Os coeficientes de digestibilidade estiveram intimamente ligados à qualidade da matéria-prima e aos métodos de fabricação dos produtos. A produção de concentrados proteicos ainda é bastante dispendiosa, o que tem impedido maiores inclusões destes em dietas para peixes (GATLIN et al. 2007; HARDY, 2010). Nesse sentido, a formulação de dietas para juvenis de jundiá empregando os ingredientes aqui estudados devem considerar a combinação com outros de menor custo. O Brasil é uma das maiores potências do agronegócio mundial, o que favorece uma ampla diversidade e disponibilidade de subprodutos que podem permitir que o cultivo do jundiá seja realizado mais eficientemente e de forma mais rentável.

## 5. Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina - FAPESC, pelo financiamento do estudo. À Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina – EPAGRI pela doação dos animais usados no estudo. Às empresas Evonik, pela realização das análises de aminoácidos, e *In vivo*, Tectron, Nicoluzzi, IMCOPA pela doação de parte dos ingredientes utilizados na fabricação das dietas experimentais. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelas bolsas concedidas para o primeiro autor.



## 6. Referências

- Allan, G.L., Parkinson, S., Booth, M. A., Stone, D. A. J., Rowland, S.J., Frances, J., Warner-Smith, R. (2000) Replacement of fish meal in diets for Australian silver perch, *Bidyanus bidyanus*: I. Digestibility of alternative ingredients. *Aquaculture*, **186**, 293–310.
- Association of Official Analytical Chemists – AOAC. (1999) Official Methods of Analysis, 16th edn. AOAC, Washington, DC, USA.
- Anderson, J.S., Lall, S.P., Anderson, D.M., McNiven, M. A. (1995) Availability of amino acids from various fish meals fed to Atlantic salmon (*Salmo salar*). *Aquaculture*, **138**, 291–301.
- Baldisserotto, B., Silva, L.V.F. (2004) Qualidade da água. In: Criação de jundiá (Baldisserotto, B. & Radünz Neto, J. ed.), pp.73–92. EUFSM, Santa Maria, RS, Brazil.
- Bellaver, C., Zanotto, D. (2004) Parâmetros de qualidade em gorduras e subprodutos protéicos de origem animal. In: anais da Conferência Apinco de Ciência e Tecnologia Avícolas, Campinas, **1**, 79–102.
- Bergamin, G.T., Veiverberg, C.A., Siqueira, L.V., Eggers, D.P., Radünz Neto, J. (2013) Digestibilidade aparente de farelos vegetais tratados para remoção de antinutrientes em dietas para jundiá. *Pesqui. Agropecuária Bras.*, **48**, 928–934.
- Bergot, F., Breque, J. (1983) Digestibility of starch by rainbow trout: Effects of the physical state of starch and of the intake level. *Aquaculture*, **34**, 203–212.
- Borghesi, R., Dairiki, J.K., Cyrino, J.E.P. (2009) Apparent digestibility coefficients of selected feed ingredients for dourado *Salminus brasiliensis*. *Aquac. Nutr.*, **15**, 453–458.
- Brunson, J.F., Romaine, R.P., Reigh, R.C. (1997) Apparent digestibility of selected ingredients in diets for white shrimp *Penaeus setiferus* L. *Aquac. Nutr.*, **3**, 9–16.
- Bureau, D.P., Harris, A. M., Cho, C.Y. (1999) Apparent digestibility of rendered animal protein ingredients for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, **180**, 345–358.
- Burr, G.S., Barrows, F.T., Gaylord, G., Wolters, W.R. (2011) Apparent

digestibility of macro-nutrients and phosphorus in plant-derived ingredients for Atlantic salmon, *Salmo salar* and Arctic charr, *Salvelinus alpinus*. *Aquac. Nutr.*, **17**, 570–577.

Cheng, Z.J., Hardy, R.W., Huige, N.J. (2004) Apparent digestibility coefficients of nutrients in brewer's and rendered animal by-products for rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss* (Walbaum)). *Aquac. Res.*, **35**, 1–9.

Cho, C.Y., Kaushik, S.J. (1990) Nutritional energetics in fish: energy and protein utilization in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *World Rev. Nutr. Diet.*, **61**, 132–72.

Cho, C.Y., Slinger, S.J. (1979) Apparent digestibility measurement in feedstuffs for rainbow trout, in: *Finfish Nutrition and Fishfeed Technology*. pp. 239–247.

Chowdhury, M. A. K., Tacon, A.G.J., Bureau, D.P. (2012) Digestibility of amino acids in Indian mustard protein concentrate and Indian mustard meal compared to that of a soy protein concentrate in rainbow trout and Atlantic salmon. *Aquaculture*, **356-357**, 128–134.

Cyrino, J.E.P., Fracalossi, D.M. (2013) A pesquisa em nutrição de peixes e o desenvolvimento da aquicultura no Brasil: uma perspectiva histórica. In: *Nutriaqua: nutrição e alimentação de espécies de interesse para a aquicultura brasileira* (Fracalossi, D.M. & Cyrino, J.E.P. ed.), 1ª edição ampliada, pp. 1-7. Aquabio, Florianópolis, SC, Brazil.

Davies, S.J., Morris, P.C., Baker, R.T.M. (1997) Partial substitution of fish meal and full-fat soya bean meal with wheat gluten and influence of lysine supplementation in diets for rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *Aquac. Res.*, **28**, 317–328.

Day, O.J., Gonzalez, H.G.P. (2000) Soybean protein concentrate as a protein source for turbot *Scophthalmus maximus* L. *Aquac. Nutr.*, **6**, 221–228.

Dong, X.H., Guo, Y.X., Ye, J.D., Song, W.-D., Huang, X.H., Wang, H. (2010) Apparent digestibility of selected feed ingredients in diets for juvenile hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus*×*Oreochromis aureus*. *Aquac. Res.*, **41**, 1356–1364.

Drew, M.D., Borgeson, T.L., Thiessen, D.L. (2007) A review of processing of feed ingredients to enhance diet digestibility in finfish. *Anim. Feed Sci. Technol.*, **138**, 118–136.

Freitas, L.E.L., Nunes, A.J.P., Sá, M.V.C. (2011) Growth and feeding responses of the mutton snapper, *Lutjanus analis* (Cuvier 1828), fed on diets with soy protein concentrate in replacement of Anchovy fish meal. *Aquac. Res.*, **42**, 866–877.

Gatlin, D.M., Barrows, F.T., Brown, P., Dabrowski, K., Gaylord, T.G., Hardy, R.W., Herman, E., H., G., Krogdahl, Å., Nelson, R., Overturf, K., Rust, M., Sealey, W., Skonberg, D., J Souza, E., Stone, D., Wilson, R., Wurtele, E. (2007) Expanding the utilization of sustainable plant products in aquafeeds: a review. *Aquac. Res.*, **38**, 551–579.

Gaylord, T.G., Barrows, F.T., Rawles, S.D. (2008) Apparent Digestibility of Gross Nutrients from Feedstuffs in Extruded Feeds for Rainbow Trout, *Oncorhynchus mykiss*. *J. World Aquac. Soc.*, **39**, 827–834.

Glencross, B.D., Carter, C.G., Duijster, N., Evans, D.R., Dods, K., McCafferty, P., Hawkins, W.E., Maas, R., Sipsas, S. (2004) A comparison of the digestibility of a range of lupin and soybean protein products when fed to either Atlantic salmon (*Salmo salar*) or rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, **237**, 333–346.

Glencross, B., Evans, D., Dods, K., McCafferty, P., Hawkins, W., Maas, R., Sipsas, S. (2005) Evaluation of the digestible value of lupin and soybean protein concentrates and isolates when fed to rainbow trout, *Oncorhynchus mykiss*, using either stripping or settlement faecal collection methods. *Aquaculture*, **245**, 211–220.

Glencross, B.D., Booth, M., Allan, G.L. (2007) A feed is only as good as its ingredients? A review of ingredient evaluation strategies for aquaculture feeds. *Aquac. Nutr.*, **13**, 17–34.

Glencross, B., Hawkins, W., Evans, D., Rutherford, N., McCafferty, P., Dods, K., Hauler, R. (2011) A comparison of the effect of diet extrusion or screw-press pelleting on the digestibility of grain protein products when fed to rainbow trout (*Oncorhynchus mykiss*). *Aquaculture*, **312**, 154–161.

Gominho-Rosa, M.C. (2012) Carboidratos em dietas para o jundiá, *Rhamdia quelen*: desempenho, aspectos digestivos e metabólicos. Universidade Federal de Santa Catarina. Tese (Doutorado) - Curso de Aqüicultura, Programa de Pós-graduação em Aqüicultura, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 119 pp.

Hardy, R.W. (2010) Utilization of plant proteins in fish diets: effects of global demand and supplies of fishmeal. *Aquac. Res.*, **41**, 770–776.

Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística - IBGE. (2014) **Produção da Pecuária Municipal 2014**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro, RJ, Brasil.

Kitagima, R.E., Fracalossi, D.M. (2011) Digestibility of Alternative Protein-Rich Feedstuffs for Channel Catfish, *Ictalurus punctatus*. *J. World Aquac. Soc.*, **42**, 306–312.

Lee, S.M. (2002) Apparent digestibility coefficients of various feed ingredients for juvenile and grower rockfish (*Sebastes schlegeli*). *Aquaculture*, **207**, 79–95.

Liu, H., Wu, X., Zhao, W., Xue, M., Guo, L., Zheng, Y., Yu, Y. (2009) Nutrients apparent digestibility coefficients of selected protein sources for juvenile Siberian sturgeon ( *Acipenser baerii* Brandt), compared by two chromic oxide analyses methods. *Aquac. Nutr.*, **15**, 650–656.

Masagounder, K., Firman, J.D., Hayward, R.S., Sun, S., Brown, P.B. (2009) Apparent digestibilities of common feedstuffs for bluegill *Lepomis macrochirus* and largemouth bass *Micropterus salmoides* using individual test ingredients. *Aquac. Nutr.*, **15**, 29–37.

McGoogan, B.B., Reigh, R.C. (1996) Apparent Digestibility of Selected Ingredients in Red Drum (*Sciaenops Ocellatus*) Diets. *Aquaculture*, **141**, 233–244.

Meyer, G., Fracalossi, D.M. (2004) Protein requirement of jundia fingerlings, *Rhamdia quelen*, at two dietary energy concentrations. *Aquaculture*, **240**, 331–343.

Montes-Girao, P.J., Fracalossi, D.M. (2006) Dietary lysine requirement as basis to estimate the essential dietary amino acid profile for Jundiá, *Rhamdia quelen*. *J. World Aquac. Soc.*, **37**, 388–396.

Moro, G.V., Camilo, R.Y., Moraes, G., Fracalossi, D.M. (2010) Dietary non-protein energy sources: growth, digestive enzyme activities and nutrient utilization by the catfish jundiá, *Rhamdia quelen*. *Aquac. Res.*, **41**, 394–400.

National Research Council - NRC. (2011) Nutrient requirements of fish and shrimp. National Academic Press. Washington, DC, USA.

Oliveira Filho, P.R.C. (2005) Coeficiente de Digestibilidade Aparente de Ingredientes para Juvenis de Jundiá, *Rhamdia quelen*. Universidade Federal de Santa Catarina. Dissertação (Mestrado) - Curso de Aqüicultura, Programa de Pós-graduação em Aqüicultura, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 39 pp.

Oliveira Filho, P.R.C., Fracalossi D.M. (2006) Coeficiente de digestibilidade aparente de ingredientes para juvenis de jundiá. *Revista Brasileira de Zootecnia*, **35**,1581-1587.

Opstvedt, J., Miller, R., Hardy, R.W., Spinelli, J. (1984) Heat-induced changes in sulfhydryl groups and disulfide bonds in fish protein and their effect on protein and amino acid digestibility in rainbow trout (*Salmo gairdneri*). *J. Agric. Food Chem.*, **32**, 929–935.

Pastore, S. C.G., Gaiotto, J.R., Ribeiro, F.A.S., Nunes, A.J.P. (2013) Formulação de Rações e Boas Práticas de Fabricação. In: Nutriaqua: nutrição e alimentação de espécies de interesse para a aqüicultura brasileira (Fracalossi, D.M. & Cyrino, J.E.P. ed.), 1ª edição ampliada, pp. 295-345. Aquabio, Florianópolis, SC, Brazil.

Portz, L., Cyrino, J.E.P. (2004) Digestibility of nutrients and amino acids of different protein sources in practical diets by largemouth bass *Micropterus salmoides* (Lacepede, 1802). *Aquac. Res.*, **35**, 312–320.

Portz, L., Furuya, W.M. (2013) Energia, proteína e aminoácidos. In: Nutriaqua: nutrição e alimentação de espécies de interesse para a aqüicultura brasileira (Fracalossi, D.M. & Cyrino, J.E.P. ed.), 1ª edição ampliada, pp. 65-77. Aquabio, Florianópolis, SC, Brazil.

Potter, L.M., Matterson, L.D. (1960) Metabolizable Energy of Feed Ingredients for the Growing Chick. *Poult. Sci.* **39**, 781–782.

Robaina, L., Corraze, G., Aguirre, P., Blanc, D., Melcion, J.P., Kaushik, S. (1999) Digestibility, postprandial ammonia excretion and selected plasma metabolites in European sea bass (*Dicentrarchus labrax*) fed pelleted or extruded diets with or without wheat gluten. *Aquaculture*, **179**, 45–56.

Silva, T.S.C., Moro, G.V., Silva, T.B. A., Dairiki, J.K., Cyrino, J.E.P. (2013) Digestibility of feed ingredients for the striped surubim *Pseudoplatystoma reticulatum*. *Aquac. Nutr.*, **19**, 491–498.

Storebakken, T., Shearer, K.D., Baeverfjord, G., Nielsen, B.G., Åsgård,

T., Scott, T., De Laporte, A. (2000) Digestibility of macronutrients, energy and amino acids, absorption of elements and absence of intestinal enteritis in Atlantic salmon, *Salmo salar*, fed diets with wheat gluten. *Aquaculture*, **184**, 115–132.

Sugiura, S.H., Dong, F.M., Rathbone, C.K., Hardy, R.W. (1998) Apparent protein digestibility and mineral availabilities in various feed ingredients for salmonid feeds. *Aquaculture*, **159**, 177–202.

Tibaldi, E., Tulli, F., Piccolo, G., Guala, S. (2003) Wheat gluten as a partial substitute for fish meal protein in sea bass (*D. labrax*) diets. *Ital. J. Anim. Sci.*, **2**, 613–615.

Tibbetts, S.M., Milley, J.E., Lall, S.P. (2006) Apparent protein and energy digestibility of common and alternative feed ingredients by Atlantic cod, *Gadus morhua* (Linnaeus, 1758). *Aquaculture*, **261**, 1314–1327.

Tocher, D.R. (2003) Metabolism and Functions of Lipids and Fatty Acids in Teleost. *Fish. Rev. Fish. Sci.*, **11**, 107–184.

Van Soest, P.J. (1994) Nutritional ecology of the ruminant. Cornell University Press. New York, NY, USA.

Ward, A.D., Carter, C.G., Townsend, A.T. (2005) The use of yttrium oxide and the effect of faecal collection timing for determining the apparent digestibility of minerals and trace elements in Atlantic salmon (*Salmo salar*, L.) feeds. *Aquac. Nutr.*, **11**, 49–59.

Wu, X.Y., Liu, Y.J., Tian, L.X., Mai, K.S., Yang, H.J. (2006) Apparent digestibility coefficients of selected feed ingredients for yellowfin seabream, *Sparus latus*. *J. World Aquac. Soc.*, **37**, 237–245.

Zhou, Q.C., Tan, B.P., Mai, K.S., Liu, Y.J. (2004) Apparent digestibility of selected feed ingredients for juvenile cobia *Rachycentron canadum*. *Aquaculture*, **241**, 441–451.

Zhou, Q.C., Yue, Y.-R. (2012) Apparent digestibility coefficients of selected feed ingredients for juvenile hybrid tilapia, *Oreochromis niloticus*×*Oreochromis aureus*. *Aquac. Res.*, **43**, 806–8

## CAPITULO II

\*Este artigo está formatado de acordo com as normas de publicação da revista *Aquaculture*

### **Desempenho de juvenis de jundiá (*Rhamdia quelen*) alimentados com rações práticas, baseadas em nutrientes digestíveis, contendo diferentes relações de energia:proteína.**

Luiz Eduardo Lima de Freitas<sup>1,2</sup>, Débora Machado Fracalossi<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup>Laboratório de Nutrição de Espécies Aquícolas (LABNUTRI),  
Departamento de Aquicultura, Centro de Ciências Agrárias,  
Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Santa Catarina,  
Brasil.

<sup>2</sup>Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária, Embrapa Pesca e  
Aquicultura, Palmas, Tocantins, Brasil.

\*Autor para correspondência: Departamento de Aquicultura, Centro de  
Ciências Agrárias, UFSC. Rodovia Ademar Gonzaga, 1346, 88034-001  
Florianópolis, SC, Brasil. Tel.: +55 48 3721-6300. E-mail:  
debora.fracalossi@ufsc.br

## Resumo

Foi avaliado o desempenho de juvenis de jundiá, *Rhamdia quelen* (peso médio  $31,54 \pm 4,92$  g), alimentados com cinco dietas formuladas a partir de valores digestíveis de ingredientes práticos, contendo níveis crescentes de proteína digestível (PD, 24, 29, 34, 39 e 44%) e energia digestível (ED, 2900, 3200, 3300, 3500 e 3600 kcal.kg<sup>-1</sup>), equivalente às seguintes relações energia digestível:proteína digestível (ED:PD): 12, 11, 10, 9 e 8 kcal.g<sup>-1</sup>. Uma dieta adicional contendo 29% PD e 3500 kcal.kg<sup>-1</sup> ED (ED:PD = 12 kcal.g<sup>-1</sup>) foi formulada, visando a verificação do efeito poupador da proteína frente a um excesso de energia não proteica. Cada dieta foi fornecida a três grupos de 25 peixes, os quais foram alimentados (9:00 e 16:00 h) por 75 dias e submetidos a biometrias quinzenais. As análises de regressão mostraram que as diferentes ED:PD afetaram ( $P < 0,05$ ) todas as variáveis de desempenho zootécnico e econômico, assim como a excreção de nitrogênio amoniacal total, que teve relação direta com o incremento de proteína e energia dietéticas. A deposição de gordura corporal acompanhou a diminuição das ED:PD nas dietas e a sobrevivência foi de 100% em todos os tratamentos. A inclusão de 12% lipídios na dieta com 29% PD e 3500 kcal.kg<sup>-1</sup>ED proporcionou desempenho similar ( $P > 0,05$ ) dos peixes alimentados com a dieta contendo 34 e 39% PD, porém, com menor deposição proteica corporal ( $P < 0,05$ ). Os peixes alimentados com as dietas contendo ED:PD entre 9 e 11 kcal.g<sup>-1</sup> alcançaram maior ganho em peso diário (GPD) e melhores taxa de retenção proteica (TRP) e conversão alimentar (CA), com menor custo de alimentação (CMA). Com base no GPD e CA, a melhor ED:PD foi estimada em 9,08 kcal.g<sup>-1</sup> (38,28% e 3437,5 kcal.kg<sup>-1</sup>) e 9,58 kcal.g<sup>-1</sup> (36,07% e 3125 kcal.kg<sup>-1</sup>), respectivamente. No entanto, as relações ED:PD ótimas que possibilitam melhor TRP e CMA em juvenis de jundiá equivalem a 10,34 kcal.g<sup>-1</sup> (32,29% e 3229 kcal.kg<sup>-1</sup>) e 10,4 kcal.g<sup>-1</sup> (33,38% e 3200 kcal.kg<sup>-1</sup>), respectivamente.

**Palavras-chave:** jundiá, nutrientes digestíveis, relação energia:proteína, desempenho.



## 1. Introdução

O jundiá (*Rhamdia quelen*) é uma espécie promissora para a criação em regiões subtropicais como o sul do Brasil, Argentina e Uruguai, por apresentar rápido crescimento, mesmo nas baixas temperaturas do inverno, adaptar-se bem às condições de confinamento, além de ser um pescado com excelente sabor, isento de espinhos intramusculares (BALDISSEROTTO *et al.*, 2010; FRACALOSSO *et al.*, 2007). Tantos pontos positivos atraíram a atenção de piscicultores, os quais vêm criando a espécie com rações formuladas para outras espécies de onívoros, como o bagre americano (*Ictalurus punctatus*) (BALDISSEROTTO *et al.*, 2010).

Entretanto, estudos demonstram que o jundiá não se comporta como um onívoro típico, apresentando baixa tolerância a carboidratos (GOMINHO-ROSA, 2012; MORO *et al.* 2010; OLIVEIRA FILHO & FRACALOSSO, 2006) e maior exigência em proteína bruta (PB), cuja estimativa de exigência vai de 28 a 51% (COLDEBELLA *et al.*, 2011; MELO *et al.*, 2006; 2012; MEYER & FRACALOSSO, 2004; PIEDRAS *et al.*, 2006; REIDEL *et al.*, 2010ab; SALHI *et al.*, 2004; SIGNOR *et al.*, 2006; TESSARO *et al.*, 2012). Essa ampla faixa relatada na estimativa de exigência proteica da espécie deve-se, entre outros fatores, à distinta digestibilidade dos ingredientes e às diferentes relações energia:proteína (E:P) empregadas nas dietas experimentais.

O uso de rações formuladas com base em energia e aminoácidos digestíveis dos ingredientes utilizados é extremamente desejável, visto que, além de suprir corretamente às exigências desses nutrientes para a espécie, gera menor custo de produção e menor emissão de poluentes (CYRINO *et al.*, 2010; PORTZ & FURUYA, 2013). Entretanto, há escassez de estudos sobre a digestibilidade de aminoácidos de diferentes ingredientes proteicos para o jundiá, o que parcialmente explica aquela ampla faixa de exigência proteica e também dificulta a adoção destes resultados pela indústria.

Há um delicado balanço entre energia e proteína na dieta que deve ser respeitado nas formulações, já que a ingestão alimentar voluntária é determinada pela energia digestível da dieta (NRC, 2011). Assim, uma dieta com excesso de energia não proteica resulta numa alta relação E:P, o que pode inibir a ingestão alimentar antes mesmo que haja o atendimento à exigência proteica da espécie. Por outro lado, uma dieta com baixa relação E:P favorece a catabolismo da proteína e a utilização desta como fonte energética, o que é altamente indesejável,

pois este é o nutriente mais caro da dieta, além de promover a poluição por excesso de excreção nitrogenada (LOVELL, 1998; CYRINO *et al.*, 2010). Assim, o emprego de fontes de energia não proteicas - dentro de certos limites - possibilita a melhor utilização da proteína para o crescimento (efeito poupador da proteína) com menores custos e excreção de compostos nitrogenados. Entre os estudos realizados com o jundiá, Meyer & Fracalossi (2004) observaram efeito poupador da proteína bruta (PB) de 37 para 33% quando a energia metabolizável (EM) das dietas foi aumentada de 3200 para 3650 kcal.kg<sup>-1</sup> (EM:PB = 11 kcal.g<sup>-1</sup>). Já Salhi *et al.* (2004) observaram esse mesmo efeito, porém com relações menores de energia digestível (ED): proteína digestível (PD) (8 e 9 kcal.g<sup>-1</sup>) quando a inclusão de lipídios aumentou de 8 para 14%, em dietas contendo o mesmo teor proteico (37% PD). No entanto, ambos os estudos utilizaram valores calculados de energia e/ou de proteína e ingredientes purificados para fabricação das dietas. Tais fatores nem sempre condizem com a realidade das rações comerciais que são fabricadas com ingredientes práticos, os quais contêm diferentes valores biológicos e composições variadas de aminoácidos essenciais.

Portanto, o presente estudo objetiva analisar o desempenho de juvenis de jundiás alimentados com dietas práticas, formuladas com base em nutrientes digestíveis, contendo diferentes relações ED:PD visando à determinação da melhor relação e, conseqüentemente, a concentração proteica adequada para a fase inicial de engorda da espécie.

## 2. Material e métodos

### 2.1 Dietas experimentais e manejo alimentar

Cinco dietas experimentais com concentrações crescentes de proteína digestível (PD, 24, 29, 34, 39 e 44%) e energia digestível (ED, 2900, 3200, 3300, 3500 e 3600 kcal.kg<sup>-1</sup>) foram formuladas de modo a corresponder às relações ED:PD de 12, 11, 10, 9 e 8 kcal.g<sup>-1</sup>, respectivamente (Tabela 8). Adicionalmente, foi formulada uma dieta contendo 29% PD e excesso de ED 3500 kcal.kg<sup>-1</sup> (ED:PD = 12 kcal.g<sup>-1</sup>) objetivando a verificação do efeito poupador da proteína frente a um excesso de energia não proteica oriunda principalmente dos lipídios. As dietas foram formuladas para atender a exigência em lisina, já estabelecida para o jundiá (MONTES-GIRAO & FRACALLOSSI, 2006), enquanto que, para os demais aminoácidos às exigências do bagre do

canal, *Ictalurus punctatus*, espécie com hábito e fisiologia alimentar similares às do jundiá (NRC, 2011). Na formulação das dietas experimentais, foram empregados os valores digestíveis das frações de proteína, energia, matéria seca e aminoácidos essenciais de ingredientes práticos já definidos para o jundiá (OLIVEIRA FILHO & FRACALOSSI, 2006; CAPÍTULO I DESSA TESE).

Inicialmente os ingredientes secos foram moídos (1 mm) num moinho de martelo (MCS350, Moinhos Vieira, Tatuí, Brasil), peneirados manualmente (600  $\mu\text{m}$ ) e pesados numa balança semi-analítica (precisão 0,01 g) (modelo YP-B20002, Bioscale, São Paulo, Brasil). Uma mistura vitamínica-mineral foi adicionada aos ingredientes secos e misturada por 10 min em batedeira planetária industrial para massas (modelo BP-20C G. Paniz, Caxias do Sul, Brasil). Em seguida, o óleo de soja foi adicionado à massa e misturado por igual período e, por fim, o teor de umidade (modelo MB 45, Ohaus, São Paulo, Brasil) da mistura foi ajustado entre 20 a 25%, a depender da dieta. A mistura foi submetida à extrusão (100°C) em matriz de 3 mm (modelo MX-40, Imbramaq, Ribeirão Preto, Brasil) e os péletes secos (55°C) em estufa com circulação e renovação de ar (Modelo MA-035/3, Marconi, Piracicaba, Brasil) por cerca de 2 h, ou até que fosse atingida a umidade de 10%. As dietas experimentais foram embaladas em sacos plásticos, identificadas e armazenadas em câmara frigorífica (-20°C) até a utilização.

A alimentação foi ofertada diariamente (9:00 e 16:00 h) até a saciedade aparente. O consumo alimentar por unidade foi contabilizado pesando-se uma quantidade previamente estabelecida dos tratos e pesando-se a diferença dessa quantidade após as duas alimentações.

## 2.2 Peixes e condições experimentais

Para a realização do estudo cerca de 600 juvenis de jundiás (peso médio  $31,54 \pm 4,92$  g) foram adquiridos junto à Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina – EPAGRI e transportados de Caçador – SC para o Laboratório de Biologia e Cultivo de Peixes de Água Doce – LAPAD/USFC. Na chegada, os peixes foram estocados em tanques circulares de 1000 L e submetidos a um tratamento profilático com banhos em água salinizada (5 g.L<sup>-1</sup>) por um período de 48 h, visando evitar possíveis contaminações por patógenos no sistema experimental.

Antecedendo o experimento, todos os animais foram anestesiados, com uma solução de óleo de cravo ( $80 \text{ mg.L}^{-1}$ ) e álcool ( $92^\circ\text{GL}$ ), a qual foi diluída na água ( $0,4 \text{ mL.L}^{-1}$ ). Em seguida, os peixes foram pesados (g) individualmente com auxílio de uma balança semi-analítica. Na ocasião, foram amostrados 10 peixes, com peso médio equivalente ao da população, para serem utilizados na análise de composição corporal inicial. A eutanásia dos animais foi feita por meio do prolongamento da sedação, por imersão em água com dose aumentada de anestésico, até a cessação total dos movimentos musculares e batimentos operculares e, a partir daí, eram contados mais 10 min para confirmação da eutanásia (conforme protocolo CEUA/UFSC n° PP00815).

Após a biometria, grupos de 25 jundiás foram submetidos novamente ao banho profilático (água salinizada  $5 \text{ g.L}^{-1}$  por 1 h), estocados aleatoriamente nas unidades experimentais e aclimatados por uma semana às dietas e rotinas de manejo. Ao fim desse período deu-se início ao experimento, que compreendeu 75 dias.

Tabela 8 - Formulação e composição das dietas experimentais (base na matéria seca).

Ingrediente, %	Energia digestível (ED, kcal):Proteína digestível (PD, g)				
	2900:24	3200:29	3300:34	3500:39	3500:29
Relação ED:PD					
	12	11	10	9	8
Concentrado proteico de soja <sup>1</sup>	10,00	16,50	22,10	27,60	33,20
Farinha de vísceras de aves <sup>2</sup>	10,60	16,40	22,00	27,70	33,20
Farinha de resíduos de salmão <sup>3</sup>	18,00	18,00	18,00	18,00	18,00
Milho moído <sup>4</sup>	58,90	46,40	35,40	23,90	13,40
Óleo soja	0,90	1,70	1,50	1,80	1,20
Premix vitamínico e mineral <sup>5</sup>	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
L-Lisina <sup>6</sup>	0,30	-	-	-	-
DL-Metionina <sup>6</sup>	0,40	-	-	-	-
Custo da dieta, R\$.kg <sup>-1</sup>	0,85	0,75	0,82	0,90	0,99
<b>Composição centesimal, %</b>					
Matéria seca	89,00	89,57	89,75	89,91	90,25
Proteína bruta	29,63	36,78	41,94	48,39	54,05
Extrato etéreo	7,45	7,75	8,15	8,71	8,67
Fibra em detergente neutro	8,66	9,27	8,02	8,45	8,32
Cinzas	10,53	7,24	9,21	11,80	11,72
Extrativos não nitrogenados <sup>7</sup>	32,73	28,53	22,43	12,56	7,49
Energia bruta, kcal.kg <sup>-1</sup>	4219	4350	4397	4483	4534

<sup>1</sup>Importação, Exportação e Indústria de Óleos (Paraná, Brasil); <sup>2</sup>Doux-Frangosul (Rio Grande do Sul, Brasil); <sup>3</sup>Tectron Nutrição Animal (Paraná, Brasil); <sup>4</sup>(Bunge Alimentos, São Paulo, Brasil); <sup>5</sup>Raguife Indústria e Comércio (São Paulo, Brasil), composição/kg de produto: ácido fólico 1.200 mg, antioxidante 5.000 mg, biotina 200 mg, colina 100.000 mg, Co 80 mg, Cu 3.500 mg, Fe 20.000 mg, I 160 mg, inositol 25.000 mg, Mn 10.000 mg, niacina 20.000 mg, Se 100 mg, vit. (vitamina) A 2.400.000 UI, vit. B<sub>1</sub> 4.000 mg, vit. B<sub>2</sub> 4.000mg, vit. B<sub>6</sub> 3.500, vit. B<sub>12</sub> 8.000 mg, vit. B<sub>2</sub> 4.000 mg, vit. B<sub>5</sub> 10.000 mg, vit. B<sub>6</sub> 3.500 mg, vit. C 60.000 mg, vit. D<sub>3</sub> 600.000 UI, vit. E 30.000 UI, vit. K<sub>3</sub> 3.000 mg, Zn 24.000 mg; <sup>6</sup>Biolys e DL-Methionine (Evonik Degussa Brasil Ltda, São Paulo, Brasil); <sup>7</sup>Extrativos não nitrogenados (ENN)= Matéria seca - (Proteína Bruta + Extrato etéreo + Fibras + Cinzas).

Foi adotado um delineamento inteiramente casualizado, com três repetições, onde cada dieta correspondeu a um tratamento ( $n=18$ ). As unidades experimentais consistiam em tanques de polietileno ( $68 \times 50 \times 38$  cm, volume útil = 70 L), os quais eram abastecidos (vazão  $1 \text{ L} \cdot \text{min}^{-1}$ ) com água salinizada ( $2 \text{ g} \cdot \text{L}^{-1}$ ) proveniente de um sistema fechado de recirculação equipado com biofiltro e filtro mecânico, aeração contínua e controle de temperatura ( $27^\circ\text{C}$ ). O uso de água salinizada teve como objetivo prevenir a infestação com ectoparasitas, em especial o protozoário ciliado *Ichthyophthirius multifiliis*, ao qual o jundiá é altamente susceptível. O fotoperíodo adotado foi de 12 h (7:00 às 19:00 h), sendo que foram utilizados anteparos plásticos no sistema de iluminação para minimizar a incidência direta de raios de luz nos tanques e proporcionar maior conforto aos animais.

### 2.3 Biometrias e variáveis analisadas

As biometrias se repetiram a cada 15 dias até o encerramento do experimento. Um dia antes de cada biometria os peixes ficavam em jejum e, durante as biometrias, eram contados e pesados individualmente, seguindo os mesmos procedimentos da biometria inicial. Ao fim dos 75 dias, foram amostrados cinco peixes por unidade experimental para análises de composição corporal final e cálculo da retenção proteica. Adicionalmente outros vinte peixes foram amostrados para determinação dos índices viscerossomático e hepatossomático. Os peixes amostrados seguiram o mesmo processo de eutanásia da biometria inicial e, em seguida, foram pesados, as vísceras retiradas e pesadas e logo após, o fígado separado e pesado.

Os dados coletados nas biometrias foram utilizados para determinação das seguintes variáveis de desempenho: ganho em peso diário ( $\text{GPD} = (\text{peso final} - \text{peso inicial}) / \text{dias de experimento}$ ), taxa de crescimento específico ( $\text{TCE} = 100 \times (\ln \text{ peso final} - \ln \text{ peso inicial}) / \text{dias de experimento}$ ), eficiência alimentar ( $\text{EA} = \text{peso final} - \text{peso inicial} / \text{alimento consumido}$ ), conversão alimentar ( $\text{CA} = \text{alimento consumido} / \text{peso final} - \text{peso inicial}$ ) e consumo alimentar diário (% peso corporal/ dia) ( $\text{CAD} = [\text{consumo MS} / (\text{peso final} + \text{peso inicial}) / 2] / \text{dias de experimento} \times 100$ ).

As amostras coletadas no início e fim do experimento foram utilizadas para as análises de composição corporal, cálculo da taxa de retenção proteica ( $\text{TRP} = 100 \times (\text{proteína corporal final} \times \text{peso final} - \text{proteína corporal inicial} \times \text{peso inicial}) / \text{consumo em proteína na}$

matéria seca) e dos índices viscerossomático (%) (IVS = (peso das vísceras/ peso total do animal) x 100) e hepatossomático (%) (IHS = (peso do fígado/ peso total do animal) x 100).

Para avaliação econômica das diferentes dietas experimentais foram calculados os seguintes índices, propostos por Bellaver *et al.* (1985) e Barbosa *et al.* (1992): custo médio da alimentação (R\$.kg<sup>-1</sup> peixe) (CMA = alimento consumido x preço da dieta/ ganho em peso), índice de eficiência econômica (%) (IEE = 100 x menor CMA entre as dietas/ CMA dieta avaliada) e índice de custo (%) (IC = 100 x CMA dieta avaliada / menor CMA entre as dietas).

## 2.4 Análises físico-químicas das dietas e água

As dietas experimentais foram analisadas de acordo com metodologias descritas pela *Association of Official Analytical Chemists* (AOAC, 1999). A matéria seca foi obtida por meio de secagem em estufa a 105°C até peso constante, método 950.01. As cinzas (matéria mineral), por incineração a 550°C, método 942.05. O extrato etéreo, por extração em éter por Soxhlet (após hidrólise ácida), método 920.39C. A proteína bruta, por Kjeldahl (N x 6,25), método 945.01. A energia foi analisada em bomba calorimétrica (PARR 6200, Parr Instrument Company, Illinois, Estados Unidos) pelo método de Potter & Matterson (1960) e as fibras por digestão em detergente neutro pelo método Van Soest & Robertson (1993). As análises de composição corporal seguiram as mesmas metodologias utilizadas nas análises de composição das dietas, com exceção de fibra que não foi realizada.

O monitoramento dos parâmetros físico-químicos da água (temperatura, oxigênio dissolvido, salinidade e pH) foi realizado diariamente após a última alimentação, com auxílio de sonda multiparâmetros (YSI *professional plus*, Ohio, Estados Unidos). A dureza, alcalinidade e compostos nitrogenados (nitrito e nitrogênio amoniacal total) foram mensurados a cada 15 dias, após as biometrias, por meio de um fotocolorímetro (AT10P, Alfakit, Florianópolis, SC). Ao longo do experimento, as variáveis indicadoras da qualidade de água mantiveram-se uniformes, sendo que as médias de temperatura (26,90 ± 0,12°C), oxigênio dissolvido, (6,40 ± 0,08 mg.L<sup>-1</sup>), salinidade (1,90 ± 0,03 g.L<sup>-1</sup>), pH (6,80 ± 0,04), dureza (93,20 ± 1,46 mg.L<sup>-1</sup> CaCO<sub>3</sub>), alcalinidade total (22,33 ± 1,85 mg.L CaCO<sub>3</sub>) e amônia (0,21 ± 0,02 mg.L<sup>-1</sup>) mantiveram-se dentro da faixa ótima para crescimento do jundiá

(BALDISSEROTTO & SILVA, 2004). Os teores de nitrito estiveram próximos a zero durante todo experimento.

Na última semana do experimento a concentração de nitrogênio amoniacal total (NAT) nos tanques foi determinada em intervalos menores de tempo, visando a elaboração da curva diária de NAT para cada tratamento. Após as alimentações foram coletadas amostras de água (500 mL) a cada meia hora nas 18 unidades experimentais, compreendendo um período total de 10 h monitoramento. As amostras ( $n=360$ ) foram imediatamente filtradas a vácuo ( $< 10$  mm Hg) em filtro de fibra de vidro ( $1,2 \mu\text{m}$ ) para posterior determinação colorimétrica em espectrofotômetro (B582, Micronal, São Paulo, Brasil) das concentrações de nitrogênio amoniacal total, segundo metodologia descrita por Valderrama (1981).

## 2.5 Análise estatística

Os dados de desempenho zootécnico e econômico e de composição corporal foram submetidos à análise de regressão polinomial, enquanto os dados de concentração de nitrogênio amoniacal total foram submetidos à análise de regressão linear. Para comparação das médias das variáveis da dieta 3500E:29 em relação às outras dietas foi empregado o teste t de *Student* com nível de significância de 5%.

## 3. Resultados

A sobrevivência dos juvenis de jundiá foi de 100% em todos os tratamentos. As diferentes relações de energia digestível: proteína digestível (ED:PD) dietéticas avaliadas afetaram todas as variáveis de desempenho zootécnico e econômico (Tabela 9).

O peso final, o ganho em peso diário, a taxa de crescimento específico e o consumo alimentar dos peixes apresentaram uma relação inversa com a diminuição da ED:PD nas dietas até  $9 \text{ kcal.g}^{-1}$ . A partir daí, foi observada piora dessas variáveis, assim como da conversão e da eficiência alimentar. Comparativamente, o CAD, PF, TCE e GPD dos jundiás alimentados com a dieta 3500:39 (ED:PD =  $9 \text{ kcal.g}^{-1}$ ) foram 1,3; 1,5; 1,8 e 2,3 vezes superiores, respectivamente, aos da dieta 2900:24 (ED:PD =  $12 \text{ kcal.g}^{-1}$ ). Já a conversão e eficiência alimentar alcançaram valores similares nas dietas com ED:PD entre 9 e  $11 \text{ kcal.g}^{-1}$ . A maior taxa de retenção proteica foi propiciada pela dieta 3200:29



(ED:PD = 11 kcal.g<sup>-1</sup>), sendo observada redução dos valores de retenção à medida que a ED:PD das dietas diminuiu.

Para o maior ganho em peso diário, a melhor ED:PD foi estimada em 9,08 kcal.g<sup>-1</sup> numa dieta contendo 38,28% PD e 3437,5 kcal.kg<sup>-1</sup> ED. No entanto, para a maior taxa de retenção proteica, essa relação aumenta para 10,34 kcal.g<sup>-1</sup>, o que equivale a uma dieta com 32,29% PD e 3229 kcal.kg<sup>-1</sup> ED (Figura 1).

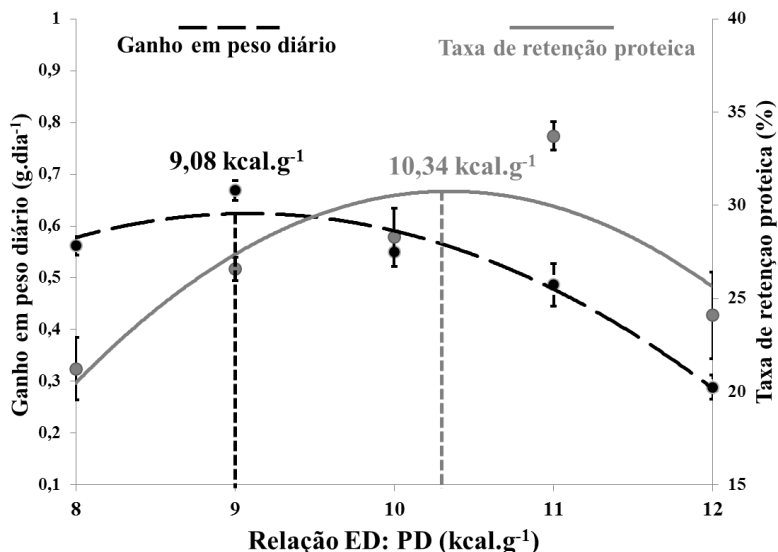


Figura 1 – Regressões da taxa de retenção proteica ( $y = -1,8709x^2 + 38,707x - 169,44$ ;  $R^2 = 0,5874$ ;  $P < 0,0001$ ) e do ganho em peso diário ( $y = -0,0397x^2 + 0,721x - 2,6501$ ;  $R^2 = 0,8843$ ;  $P < 0,0001$ ) de juvenis de jundiá alimentados com dietas contendo diferentes relações de ED:PD por 75 dias.

Com exceção da dieta 2900:24 (ED:PD 12 kcal.g<sup>-1</sup>), que foi suplementada com aminoácidos sintéticos, o custo das dietas acompanhou proporcionalmente o incremento proteico e energético. Dessa forma, o custo da dieta, o ganho em peso e a conversão alimentar influenciaram significativamente os outros índices econômicos. A melhor conversão alimentar foi estimada para uma dieta contendo ED:PD de 9,58 kcal.g<sup>-1</sup> (36,07% PD e 3125 kcal.kg<sup>-1</sup> ED); já o menor custo médio de alimentação, para 10,4 kcal/g (33,38% PD e 3200 kcal.kg<sup>-1</sup>ED) (Figura 2).

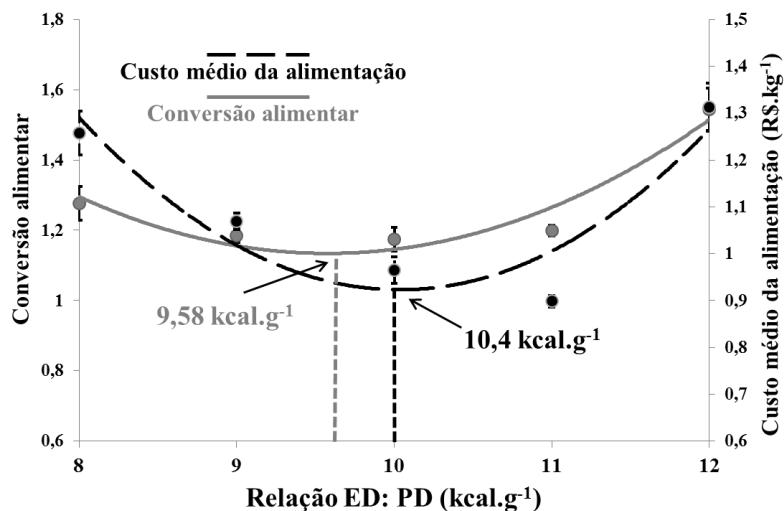


Figura 2 – Regressões do custo médio da alimentação ( $y=0,0888x^2-1,7831x+9,8696$ ;  $R^2=0,7802$ ;  $P<0,0001$ ) e da conversão alimentar ( $y=0,0649x^2-1,2436x+7,0892$ ;  $R^2=0,7802$ ;  $P<0,0001$ ) de juvenis de jundiá alimentados com dietas contendo diferentes relações ED:PD por 75 dias.

Tabela 9 - Efeito de diferentes relações energia digestível:proteína digestível (ED:PD) na dieta sobre as variáveis de desempenho zootécnico e econômico de juvenis de jundiá (*Rhamdia quelen*)<sup>1</sup>.

Variável de desempenho <sup>2</sup>	Energia digestível (ED, kcal):Proteína digestível (PD, g)								Valor de p	Ponto máximo E:P	
	2900:24		3200:29		3300:34		3500:39				3600:44
	12		11		10		9				8
Peso final, g	53,55±2,61		68,18±3,82		71,48±0,71		82,10±2,61		73,66±1,91	<0,05	9,02
Taxa crescimento específico, %·dia <sup>-1</sup>	0,69±0,03		1,02±0,05		1,15±0,02		1,26±0,01		1,13±0,01	<0,0001	9,16
Eficiência alimentar	64,98±2,44		83,47±1,11		85,29±2,43		84,51±1,42		78,56±3,03	<0,0001	9,61
Consumo alimentar, % peso vivo·dia <sup>-1</sup>	1,04±0,02		1,16±0,04		1,27±0,03		1,39±0,02		1,36±0,04	<0,05	7,95
Índice de eficiência econômica, %	66,84±2,51		97,41±1,29		90,77±2,59		81,88±1,38		69,72±2,69	<0,0001	10,08
Índice de custo, %	150,05±5,87		102,69±1,35		110,35±3,20		122,20±2,05		143,85±5,34	<0,0001	10,03

<sup>1</sup>Peso médio inicial: 31,54±4,92 g. <sup>2</sup>Valores (média ± erro padrão) para três repetições. A análise de regressão polinomial foi significativa para as variáveis, gerando as equações: peso final:  $y = -2,7739x^2 + 50,063x - 147,89$  ( $R^2=0,8009$ ); taxa de crescimento específico:  $y = -0,067x^2 + 1,2273x - 4,39$  ( $R^2=0,9502$ ); eficiência alimentar:  $y = -0,0368x^2 + 0,7072x - 2,5279$  ( $R^2=0,8033$ ); consumo alimentar diário:  $y = -0,0212x^2 + 0,3373x + 0,0381$  ( $R^2=0,8706$ ); índice de eficiência econômica:  $y = -6,2657x^2 + 126,29x - 542,49$  ( $R^2=0,7551$ ); índice de custo:  $y = 10,158x^2 - 203,87x + 1128,4$  ( $R^2 = 0,7802$ ).

Os teores de umidade, cinzas e proteína corporal e o índice viscerossomático dos jundiás não foram alterados ( $P>0,05$ ) com a variação da ED:PD das dietas (Tabela 10); por outro lado, a gordura corporal e o índice hepatossomático foram significativamente afetados. Foi observada tendência de aumento no teor de gordura e de diminuição no índice hepatossomático dos jundiás à medida que a ED:PD reduziu nas dietas (Figura 3).

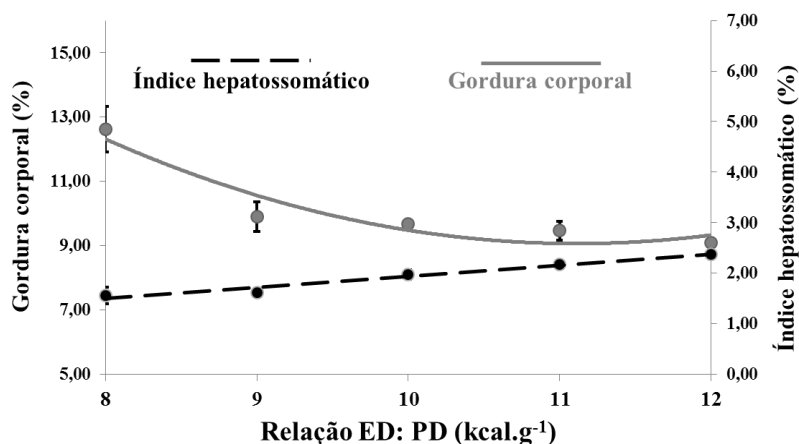


Figura 3 – Regressões da gordura corporal ( $y=0,336x^2-7,4667x+50,55$ ;  $R^2=0,7469$ ;  $P<0,05$ ) e índice hepatossomático ( $y=0,2213x-0,2753$ ;  $R^2=0,807$ ;  $P<0,0001$ ) em juvenis de jundiás alimentados com dietas contendo diferentes relações ED:PD por 75 dias.

Tabela 10 - Composição corporal (em matéria úmida) e índice viscossomático de juvenis de jundiá<sup>1</sup> alimentados com diferentes relações energia: proteína (E:P) por 75 dias.

Composição corporal, % <sup>2</sup>	Energia digestível (ED, kcal):Proteína digestível (PD, g)					Valor de <i>p</i>
	2900:24	3200:29	3300:34	3500:39	3600:44	
	Relação ED:PD (kcal/g)					
	12	11	10	9	8	
Umidade	70,97±0,16	70,49±0,12	69,76±0,36	70,23±0,36	69,18±2,02	0,9886
Proteína bruta	14,40±0,16	15,28±0,03	14,60±0,23	15,18±0,20	15,03±0,30	0,3162
Cinzas	5,97±0,05	5,49±0,05	6,31±0,56	5,42±0,03	4,80±0,03	0,0629
Índice viscossomático,%	8,55±0,12	8,84±0,19	8,43±0,08	8,84±0,24	8,78±0,36	0,8701

<sup>1</sup>Peso médio inicial: 31,54±4,92 g; <sup>2</sup>Valores apresentados como média ± erro padrão para três repetições. As análises de regressão polinomial (segunda ordem) não foram significativas (P>0,05), gerando as seguintes equações: umidade:  $y = 0,0036x^2 + 0,3142x + 66,621$  ( $R^2 = 0,1394$ ); proteína:  $y = -0,0579x^2 + 1,0421x + 10,377$  ( $R^2 = 0,1789$ ); Cinzas:  $y = -0,1425x^2 + 3,0905x - 10,776$  ( $R^2 = 0,4373$ ); índice viscossomático:  $y = 0,0004x^2 - 0,0179x + 8,8137$  ( $R^2 = 0,0263$ ).

Os peixes alimentados com a dieta 3500E:29 apresentaram diferenças significativas nas variáveis de desempenho avaliadas somente em relação à dieta 3200:29 (Figura 4). A taxa de retenção proteica e o índice hepatossomático (ambos  $P<0,001$ ) dos jundiás alimentados com a dieta 3500E:29 foram menores frente aos que receberam a dieta 3200:29. Já a fração proteica da composição corporal dos peixes alimentados com a dieta 3500E:29 foram significativamente menores, quando comparadas àquelas dos alimentados com as dietas 3200:29 ( $P<0,001$ ), 3300:34 ( $P<0,05$ ) e 3500:39 ( $P<0,05$ ).

Além disso, a maior inclusão de óleo de soja na dieta 3500E:29 resultou no aumento no custo de R\$ 0,10  $\text{kg}^{-1}$  em relação ao custo da dieta 3200:29. Tal situação refletiu num maior custo médio de alimentação ( $P<0,05$ ), assim como numa piora significativa dos índices de eficiência econômica e de custos, em relação à dieta 3200:29.

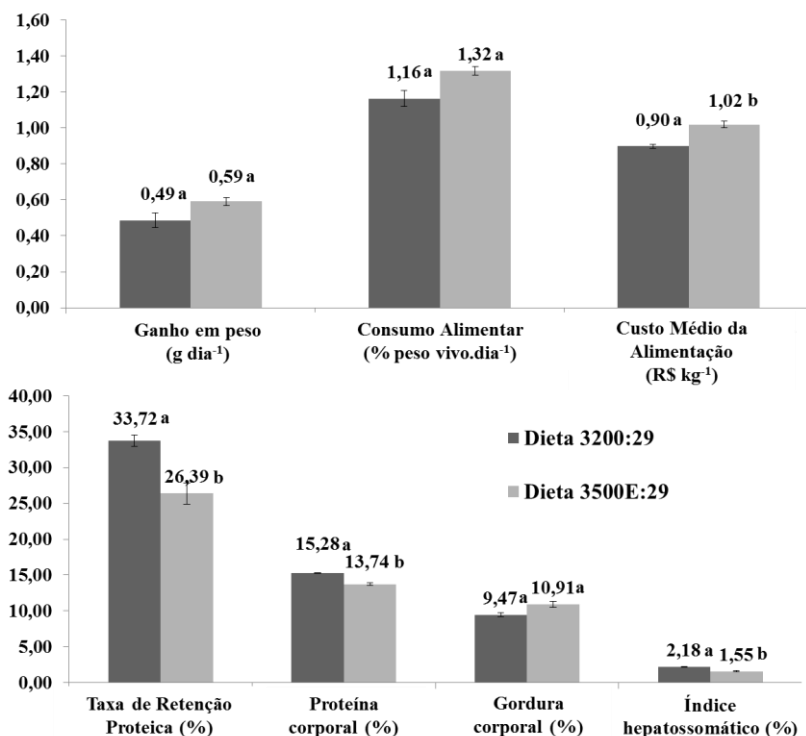


Figura 4 – Variáveis de desempenho zootécnico e econômico, composição corporal e índice hepatossomático de juvenis de jundiás alimentados com a dieta 3500E:29 em relação àqueles alimentados com a dieta 3200:29. Médias com letras iguais não diferem entre si ( $P > 0,05$ ).

As concentrações de NAT monitoradas na última semana do experimento apresentaram aumento linear com a elevação das concentrações de proteína e consequente diminuição da ED:PD nas dietas, sendo os maiores valores obtidos com a dieta 3600:44 (ED:PD = 8 kcal.g<sup>-1</sup>). Independentemente dessas diferenças, as concentrações de nitrogênio amoniacal total estiveram bem abaixo do nível crítico para a espécie (até 2,0 mg.L<sup>-1</sup>) (BALDISSEROTTO & SILVA, 2004) e não afetaram o consumo e o crescimento dos animais (Figura 5).

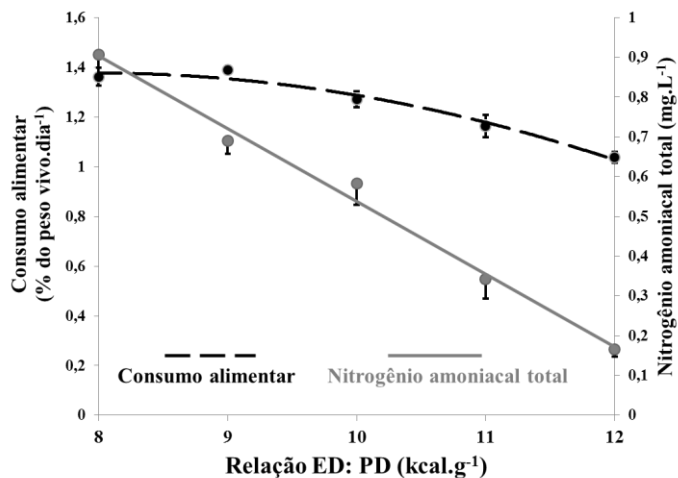


Figura 5 – Regressões do consumo alimentar ( $y = -0,0212x^2 + 0,3373x + 0,0381$ ;  $R^2 = 0,8706$ ;  $P < 0,05$ ) e da concentração de nitrogênio amoniacal total ( $y = -0,1829x + 2,3663$ ;  $R^2 = 0,9346$ ;  $P < 0,0001$ ) de juvenis de jundiás alimentados com dietas contendo diferentes relações ED:PD.



#### 4. Discussão

O jundiá respondeu às variações nas relações energia digestível: proteína digestível (ED:PD) dietéticas para a maioria das variáveis avaliadas no presente estudo. Os melhores resultados de desempenho foram obtidos com valores intermediários, de ED:PD entre 9 e 11 kcal.g<sup>-1</sup>, que correspondem a uma faixa de 29 a 39% PD e 3200 a 3500 kcal.kg<sup>-1</sup> de ED.

As fontes proteicas empregadas nas dietas experimentais do presente estudo (concentrado proteico de soja e as farinhas de resíduos de processamento de salmão e de vísceras de aves) apresentam altos coeficientes de digestibilidade e atendem adequadamente às exigências em aminoácidos essenciais do jundiá (CAPÍTULO I DESSA TESE). A inclusão do óleo de soja nas dietas experimentais variou pouco (0,9 a 1,8%), sendo as relações ED:PD mantidas principalmente pela inclusão de milho moído (fonte de carboidratos). A dieta 3600:44 (ED:PD=8 kcal.g<sup>-1</sup>), que possuía os maiores níveis proteico e energético avaliados, continha uma pequena quantidade de milho (13,4%) o que resultou num percentual de apenas 7,49% de ENN (indicador do teor de carboidratos digestíveis na dieta) e numa baixa relação carboidrato: lipídio (CHO:L) de 0,86. Essa reduzida disponibilidade de fontes energéticas não proteicas, associada à alta concentração proteica dessa dieta, pode ter favorecido o uso da proteína para provimento de energia em detrimento à síntese proteica e consequente aumento no crescimento.

Os peixes alimentados com a dieta 3600:44 (ED:PD=8 kcal.g<sup>-1</sup>), apresentaram redução no ganho em peso e na retenção proteica em relação ao tratamento 3500:39 (ED:PD=9 kcal.g<sup>-1</sup>), além de maior excreção de NAT e considerável acúmulo de gordura corporal frente aos outros tratamentos avaliados. Esses efeitos sinalizam que o nível proteico da dieta está acima da exigência da espécie. Neste caso, os aminoácidos são catabolizados para suprimento das necessidades energéticas, reduzindo as taxas de crescimento, sendo o excedente proteico armazenado na forma de gordura corporal e/ou excretado na forma de nitrogênio (NRC, 2011; PORTZ & FURUYA, 2013; STEFFENS, 1989). Melo *et al.* (2006; 2012) observaram aumento da atividade de enzimas digestivas e hepáticas relacionadas ao metabolismo de aminoácidos, além das concentrações de aminoácidos livres, amônia e ureia no plasma e no fígado, quando jundiás foram alimentados com dietas contendo níveis crescentes de proteína e decrescentes de ENN. Tal resposta metabólica estaria relacionada ao uso da proteína como

energia devido ao excesso desse nutriente e ao desequilíbrio na proporção carboidrato:proteína, tal como observado no presente estudo nos peixes alimentados com a dieta 3600:44. Ainda, a baixa CHO:L dessa dieta proporcionou maior acúmulo de gordura corporal, como também observado em estudos onde jundiás foram alimentados com reduzida relação CHO:L (entre 0,3 a 1,0) ou com quantidade de ENN<16% (GOMINHO-ROSA, 2012; MORO *et al.*, 2010).

De maneira contrária a essa situação, uma alta ED:PD ocasionada por maiores inclusões de milho (58,9%) pode ter prejudicado o desempenho dos jundiás alimentados com a dieta 2900:24 (ED:PD=12 kcal.g<sup>-1</sup>). Esses peixes apresentaram os piores resultados para todas as variáveis de desempenho avaliadas. Embora possua uma relação CHO:L (4,39:1), próxima à adequada (5,3:1), conforme relatado por Moro *et al.* (2010), a quantidade de ENN (32,73%) da dieta 2900:24 está próxima ao limite de inclusão relatado para a espécie por Gominho-Rosa (2012). No referido estudo, a inclusão de 30% de amido de milho na dieta (cerca de 37% de ENN) promoveu o acúmulo de ácidos graxos livres e triacilgliceróis no fígado de jundiás (peso médio 24 g), implicando em maior índice hepatossomático e sinais de esteatose hepática. Moro *et al.* (2010) observaram ainda que dietas ricas em ENN favoreceram o acúmulo de glicogênio hepático em jundiá. Apesar desses intermediários metabólicos não terem sido avaliados no presente estudo, os peixes alimentados com a dieta 2900:24 (ED:PD=12 kcal.g<sup>-1</sup>) exibiram os maiores valores de índice hepatossomático, sugerindo que os efeitos observados nos estudos mencionados também possam ter ocorrido aqui. Além disso, o excesso de energia não proteica parece ter prejudicado o consumo e o ganho em peso dos jundiás alimentados com a dieta 2900:24. Sabe-se que a ingestão voluntária de alimentos é essencialmente regulada pela energia digestível disponível na dieta (NRC, 2011). Essa dieta propiciou um consumo alimentar consideravelmente menor frente às demais dietas. Tal aspecto associado às baixas retenção e deposição proteicas nos peixes alimentados com a dieta 2900:24 fornecem indícios que possa ter havido interrupção do consumo alimentar antes mesmo que fosse ingerida quantidade suficiente de proteína para atender às exigências do jundiá. Em estudos com pacu, Bicudo *et al.* (2009; 2010) observaram efeito similar em dietas ricas em energia não proteica, onde o consumo e o desempenho foram menores.

Outro fator que pode ter prejudicado ainda mais o crescimento dos jundiás alimentados com a dieta 2900:24, refere-se às exigências em

aminoácidos essenciais da espécie. As dietas foram formuladas para atender às exigências em aminoácidos do bagre do canal, ajustadas com base nos valores de exigências em lisina e em proteína já definidas para jundiás menores (1,5 g) (MEYER & FRACALOSSI, 2004; MONTES-GIRAO & FRACALOSSI, 2006). Apesar de ambas as espécies possuírem hábito alimentar semelhante, as exigências consideradas, associadas à baixa disponibilidade de proteína (aminoácidos) na dieta 2900:24, podem ter sido insuficientes para o atendimento das reais exigências do jundiá. O baixo teor proteico dessa dieta impediu maiores inclusões da farinha de vísceras de aves e do concentrado proteico de soja, impossibilitando o atendimento das exigências mínimas em alguns aminoácidos essenciais, como a metionina e a lisina. Para contornar tal situação, foi feita a suplementação da dieta com esses dois aminoácidos sintéticos. Todavia, a eficácia desse tipo de suplementação pode ser questionada, uma vez que esses aminoácidos encontram-se prontamente disponíveis e podem ser rapidamente absorvidos pelo trato digestório antes dos outros aminoácidos da proteína integral dos ingredientes práticos (CYRINO *et al.*, 2010; NRC, 2011). Portanto, a combinação desse fator com a baixa disponibilidade de aminoácidos proveniente dos ingredientes práticos, associada a uma reduzida ingestão alimentar, possivelmente prejudicou o desempenho dos jundiás alimentados com a dieta 2900:24.

Os resultados do presente estudo apontam que a adoção de dietas contendo relação ED:PD entre 9 e 11 kcal.g<sup>-1</sup> possibilitam aumentos no consumo e no ganho em peso do jundiá, associado à melhores retenção proteica e conversão alimentar, com menores custos de produção. As dietas 3200:29, 3300:34 e 3500:39 correspondentes a esse intervalo de ED:PD apresentaram equilíbrio entre os teores de proteína e de fontes energéticas não proteicas. Gominho-Rosa (2012) observou que a inclusão de ENN até 37% (aproximadamente 30% de amido), em dietas isonitrogenadas, não afetou o ganho em peso, melhorou a retenção proteica e reduziu a gordura corporal de jundiás. Como efeito negativo, foi verificado acúmulo excessivo de gordura hepática, sendo recomendada a inclusão máxima de 16,2% de ENN (aproximadamente 12% de amido) em dietas para a espécie. No presente estudo, o incremento de ENN concomitante com a redução da proteína dietética também promoveu a diminuição da gordura corporal acompanhada pelo aumento do índice hepatossomático. No entanto, a melhor taxa de retenção proteica e o maior teor de proteína corporal foram obtidos com a dieta 3200:29 que continha 28,53% de ENN (29% PD, 3200 kcal.kg<sup>-1</sup>

e EP:PD = 11 kcal.g<sup>-1</sup>). Diferentemente do observado por Gominho-Rosa (2012) o emprego de níveis acima de 16,2% ENN não implicou em indícios de esteatose hepática, proporcionando menor quantidade de gordura corporal em relação àquele estudo (9,5% *versus* 13,3%). Tais diferenças devem-se provavelmente não somente as diferenças entre os níveis proteicos, mas também ao tipo de fabricação das dietas empregadas nos dois estudos (extrusada *versus* peletizada). O uso de extrusão na fabricação das dietas do presente estudo pode ter favorecido o melhor aproveitamento dos carboidratos pelos juvenis de jundiá. A combinação da umidade, pressão, temperatura e corte mecânico do processo de extrusão promovem alterações na estrutura dos carboidratos, em especial do amido, tornando-o mais digestível (BERGOT & BREQUE, 1983; GLENCROSS *et al.*, 2011). Outro fator que também pode ter influenciado os resultados, diz respeito à quantidade de lipídios na dieta 3200:29 e na utilizada por Gominho-Rosa (2012), as quais foram 7,75 e 17,8%, respectivamente. A combinação de elevados teores de lipídios e de ENN dietéticos pode ter sido a razão para o baixo desempenho do jundiá naquele estudo, assim como nos animais alimentados com a dieta 3500E:29.

Comparativamente com a dieta 3200:29, os jundiás alimentados com a dieta 3500E:29 alcançaram maior ganho em peso, porém apresentaram pior taxa de retenção proteica e composição corporal pobre em proteína e rica em gordura. O efeito poupador desejado com a dieta 3500E:29 (EP:PD = 12 kcal.g<sup>-1</sup>) foi alcançado em relação a níveis proteicos maiores (entre 34 e 39% PD). Os resultados mostram que a inclusão de 12% lipídios e de 26,27% ENN na dieta 3500E:29 permitiu um desempenho sem diferenças significativas aos peixes alimentados com as dietas 3300:34 e 3500:39, porém com menor deposição proteica corporal ( $P < 0,05$ ). Geralmente os lipídios são mais bem digeridos pelos peixes que os carboidratos, sendo essenciais para o provimento de energia para as funções metabólicas (TOCHER, 2003). No entanto, assim como os carboidratos, a inclusão de lipídios nas dietas deve ser feita com parcimônia, uma vez que o excesso pode produzir peixes com maior teor de gordura hepática e/ou corporal (JOHNSON *et al.*, 2002).

Independente da dieta ou fase de desenvolvimento dos peixes utilizados, o intervalo de 9 a 11 kcal.g<sup>-1</sup> de ED:PD do presente estudo corresponde ao mesmo em que a maior parcela das exigências proteicas e energéticas foram definidas para o jundiá (MELO *et al.*, 2006; 2012; MEYER & FRACALOSSO, 2004; REIDEL *et al.*, 2010ab; SALHI *et al.*, 2004; SIGNOR *et al.*, 2006; TESSARO *et al.*, 2012). Da mesma forma,

as melhores relações de ED:PD estimadas para GPD, CA, TRP e CMA do presente estudo encontram-se dentro desse intervalo.

A exigência de um nutriente é determinada por sua concentração mínima em uma dieta de modo a proporcionar o máximo desempenho (LOVELL, 1998). Geralmente os estudos consideram a relação E:P ótima como aquela que proporciona o máximo ganho em peso, visto que essa variável é a mais adequada para estimativa de exigências nutricionais em peixes (COWEY, 1992; PORTZ *et al.*, 2000). Para o presente estudo, a melhor ED:PD estimada com base nessa variável correspondeu a 9,08 kcal.g<sup>-1</sup> numa dieta contendo 38,28% PD e 3437,5 kcal.kg<sup>-1</sup> ED. Entretanto, nem sempre o ganho em peso traduz fielmente como os alimentos consumidos foram utilizados para o crescimento. É o caso dos tratamentos 3500:39 e 3600:44, onde foram observados os melhores consumos alimentares, o que teoricamente implicou maior ganho em peso dos animais. Todavia, ao analisar as outras variáveis de desempenho, como a TRP, ou a composição corporal, como a gordura, fica evidente uma baixa eficiência na utilização do alimento consumido. Assim, para evitar interpretações errôneas da E:P ótima, deve-se empregar alguma variável que expresse o ganho em peso com base na ingestão de alimento, como por exemplo, a conversão alimentar (GLENCROSS *et al.*, 2007; JOBLING, 2001).

No presente estudo, a melhor conversão alimentar foi estimada para uma dieta contendo uma relação ED:PD de 9,58 kcal.g<sup>-1</sup> (36,07% PD e 3125 kcal.kg<sup>-1</sup>ED). Contudo, a conversão alimentar é calculada com base no consumo, cuja medida é de difícil precisão no meio aquático. Além disso, a conversão considera a ingestão total de alimentos, o que dificulta a estimativa específica de como a energia e/ou algum dos nutrientes da dieta foram aproveitados pelos animais. Como exemplo, cita-se os resultados obtidos com as dietas 3200:29 e 3500E:29, onde os peixes apresentaram consumos alimentares distintos, porém conversões alimentares idênticas e deposições corporais de proteína e gordura significativamente diferentes. Uma das maneiras de contornar essa situação seria a estimativa a partir de variáveis que conciliem o ganho em peso e as variações na composição química dos animais, como a taxa de retenção proteica (CYRINO *et al.*, 2013).

A melhor taxa de retenção nos juvenis de jundiá foi alcançada com a relação ED:PD de 10,34 kcal.g<sup>-1</sup>, o que equivale a uma dieta com 32,29% PD e 3229 kcal.kg<sup>-1</sup> ED. As dietas que possuíam níveis energéticos e proteicos próximos a essa ED:PD (3200:29 e 3300:34) não alcançaram os maiores ganhos em peso, apesar disso, mostraram

melhores taxas de retenção proteica, conversões e eficiências alimentares, assim como composições corporais com maior teor de proteína e menor de gordura. Esses dois últimos aspectos são de grande importância, uma vez que influenciam diretamente a qualidade da carne e o tempo de prateleira do produto final. Teores reduzidos de gordura apresentam menor taxa de oxidação lipídica, uma das principais reações responsáveis pela deterioração do pescado (DAVIS *et al.*, 1999; SANT'ANA *et al.* 2011). Ademais, a melhora da retenção e da deposição proteica promovida pela ED:PD dietética adequada, também favoreceu a excreção de níveis intermediários de NAT, como já demonstrado em outros estudos (DEBNATH *et al.*, 2012; ENGIN & CARTER, 2001; GREEN & HARDY, 2008; MCGOOGAN & GATLIN, 1999; 2000; OZORIO *et al.*, 2001).

As concentrações de NAT do presente estudo estiveram abaixo dos níveis críticos e não afetaram o consumo e o crescimento dos jundiás. As diferenças de valores observadas nas concentrações ao longo do estudo (após as biometrias) e o período final (correspondente à elaboração da curva diária de NAT) deveram-se aos seguintes fatores: 1) a sensibilidade de métodos distintos empregados para monitoramento do NAT nos dois momentos; 2) a alimentação dos animais, a qual foi suspensa antes e durante os dias das biometrias, enquanto no período de elaboração da curva diária a mesma foi feita normalmente; e 3) a amostragem e a periodicidade do monitoramento do NAT, que foi realizada de maneira pontual ao término de cada biometria e em seis unidades aleatórias (correspondente aos seis tratamentos), sendo que, durante a elaboração da curva diária de NAT, as coletas foram realizadas a cada meia hora e abrangeram todas as unidades experimentais. Isto foi possibilitado mediante o uso de dietas adequadas, de um sistema de recirculação de água fechado (equipado com filtros) e de um número reduzido de animais. No entanto, sabe-se que essas concentrações podem apresentar valores diferentes em cultivos comerciais em virtude da escala, dos sistemas e manejos empregados, aspectos estes que merecem atenção especial.

Além de todos os aspectos mencionados, a definição da melhor ED:PD para juvenis de jundiá deve, ainda, considerar o custo mínimo de produção, uma vez que o mesmo permite a análise dos índices de desempenho juntamente com as variáveis econômicas (BICUDO *et al.*, 2010; KOCH *et al.*, 2014). A importância de avaliação do aspecto econômico justifica-se pelo fato da alimentação corresponder até 70% dos custos operacionais de um empreendimento aquícola (LOVELL,

1998; CYRINO *et al.*, 2010). Tais custos devem-se principalmente aos elevados níveis de proteína em rações para peixes e este ser o macronutriente mais caro (LOVELL, 2002). Assim, faz-se necessário induzir, por meio da manutenção de uma adequada relação E:P, que a proteína dietética seja destinada para o crescimento, enquanto os carboidratos e lipídios, de menor custo, para fins energéticos.

No presente estudo, o menor custo médio de alimentação foi alcançado com a dieta contendo ED:PD estimada em 10,4 kcal.g<sup>-1</sup> (33,38% PD e 3200 kcal.kg<sup>-1</sup> ED). Os CMA's dos tratamentos foram influenciados de diferentes formas pelos custos das dietas, ganhos em peso e conversões alimentares. A dieta 2900:24 apresentou o maior CMA e os piores IEE e IC, os quais foram resultantes de uma pior conversão alimentar, associada ao custo da dieta e o reduzido ganho em peso. Embora com menor teor proteico, o uso de aminoácidos sintéticos fez com que a dieta 2900:24 apresentasse maior custo frente à dieta 3200:29. De forma similar, a inclusão de 6,8% de óleo de soja na dieta 3500E:29 acarretou num custo idêntico à dieta 2900:24 e foi o fator determinante para o CMA, IEE e IC obtidos. Koch *et al.* (2014) avaliaram diferentes relações de ED:PD em dietas para a tilápia-do-Nilo e, assim como no presente estudo, observaram que o uso de aminoácidos sintéticos e do óleo de soja implicaram maiores custos das dietas e de produção.

Apesar de propiciar elevado ganho em peso, a dieta 3600:44 não resultou em índices econômicos interessantes. O maior custo desta dieta, gerado pelo alto teor proteico, somado à piora na conversão alimentar, foram as principais razões para a baixa eficiência econômica desta dieta. Como no presente estudo, o emprego de dietas com maiores teores proteicos acarretou em aumentos significativos no custo das dietas e de produção de pacus (*Piaractus mesopotamicus*) (BICUDO *et al.*, 2011) e de robalos-peva (*Centropomus parallelus*) (DE SOUZA *et al.*, 2011).

Já as dietas 3200:29, 3300:34 e 3500:39 apresentaram conversões alimentares bastante próximas, sendo seus índices econômicos influenciados pelo custo das dietas e pelo ganho em peso. Estas dietas apresentaram equilíbrio nas inclusões de ingredientes proteicos e, principalmente, de fontes energéticas como o milho (menor custo), resultando custos entre R\$ 0,75 a 0,90 kg<sup>-1</sup> dieta. Embora apresentando menor ganho em peso em relação às outras duas dietas, o baixo custo da dieta 3200:29 (11 kcal.g<sup>-1</sup> de ED:PD) favoreceu os melhores CMA, IEE e IC. A dieta 3300:34 (10 kcal.g<sup>-1</sup> de ED:PD), cuja relação mais se aproxima das ED:PD estimadas para TRP e CMA, apresentou a melhor

conversão alimentar e um CMA intermediário em relação aos outros tratamentos. Essa relação de ED:PD (cerca de  $10 \text{ kcal.g}^{-1}$ ), estimada com base na TRP e CMA para o jundiá foi próxima à relatada por Koch *et al.* (2014) para tilápia-do-Nilo criada em tanques-rede (29% PD e  $3000 \text{ kcal.kg}^{-1}$  ED). No entanto, diferentemente desses autores, as relações estimadas para o presente estudo correspondem à fase inicial de engorda do jundiá, enquanto a estimada para a tilápia-do-Nilo corresponde à fase de terminação. Nesse sentido, é válido ressaltar a necessidade da determinação da relação ED:PD para outras fases da criação, sejam elas posteriores ou anteriores a avaliada no presente estudo. Tal necessidade relaciona-se às mudanças das exigências da espécie durante as diferentes fases de desenvolvimento e a diminuição da capacidade de aproveitamento de alguns nutrientes (NRC, 2011). Como demonstrado no presente estudo, a adoção inadequada da relação E:P para as demais fases de cultivo do jundiá poderá reverter-se em menor desempenho, aumentando o tempo de criação e resultando em prejuízos econômicos e ambientais.

## 5. Conclusões

Como conclusão, a melhor relação ED:PD que proporciona o maior ganho em peso em jundiás (peso médio entre 31 a 82 g) na fase de recria é estimada em  $9,08 \text{ kcal.g}^{-1}$  numa dieta contendo 38,28% PD e  $3437,5 \text{ kcal.kg}^{-1}$  ED. Já para a obtenção de melhor conversão alimentar na mesma faixa de peso a ED:PD é estimada  $9,58 \text{ kcal.g}^{-1}$  o que equivale a uma dieta com 36,07% PD e  $3125 \text{ kcal.kg}^{-1}$  ED.

Caso a retenção proteica e os custos de alimentação sejam levados em conta, as melhores ED: PD são estimadas em  $10,34 \text{ kcal.g}^{-1}$  (32,29% PD e  $3229 \text{ kcal.kg}^{-1}$  ED) e  $10,4 \text{ kcal.g}^{-1}$  (33,38% PD e  $3200 \text{ kcal.kg}^{-1}$ ), respectivamente.

## 6. Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa e Inovação do Estado de Santa Catarina - FAPESC, pelo financiamento do estudo. À Empresa de Pesquisa Agropecuária e Extensão Rural de Santa Catarina – EPAGRI pela doação dos animais usados no estudo. Às empresas Evonik, *In vivo*, Tectron, Nicoluzzi e IMCOPA pela doação de parte dos ingredientes utilizados na fabricação das dietas experimentais. À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior



(CAPES) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelas bolsas concedidas para o primeiro autor.

## 7. Referências

AOAC, 1999. Official Methods of Analysis, 16th edn. AOAC Assoc. Off. Anal. Chem. Washington, DC.

Baldisserotto, B., Silva, L.V.F. 2004. Qualidade da água, in: Baldisserotto, B., Radünz Neto, J. (Eds.), Criação de jundiá. EUFSM, Santa Maria. pp.73-92.

Baldisserotto, B., Randuz Neto, J., Barcellos, L.G. 2010. Jundiá (*Rhamdia* sp.), in: Baldisserotto, B., Gomes, L.C. (Eds), Espécies nativas para piscicultura no Brasil. 2. ed. EUFSM, Santa Maria. cap. 11. pp. 301-333.

Barbosa, H.P., Fialho, E.T., Ferreira, A.S., De Lima, G.J.M.M., Maciel Gomes, M.F., 1992. Triguilho para suínos nas fases inicial de crescimento, crescimento e terminação. Rev.Soc. Bras. Zootec. 21, 827–837.

Bellaver, C., Fialho, E.T., Protas, J.F.D.S., Gomes, P.C., 1985. Radícula de malte na alimentação de suínos em crescimento e terminação. Pesq. Agrop. Bras. 20, 969–974.

Bergot, F., Breque, J., 1983. Digestibility of starch by rainbow trout: Effects of the physical state of starch and of the intake level. Aquaculture 34, 203–212. doi:10.1016/0044-8486(83)90203-X

Bicudo, A.J.A., Sado, R.Y., Cyrino, J.E.P., 2009. Growth and haematology of pacu, *Piaractus mesopotamicus*, fed diets with varying protein to energy ratio. Aquac. Res. 40, 486–495. doi:10.1111/j.1365-2109.2008.02120.x

Bicudo, A.J.A., Sado, R.Y., Cyrino, J.E.P., 2010. Growth performance and body composition of pacu *Piaractus mesopotamicus* (Holmberg 1887) in response to dietary protein and energy levels. Aquac. Nutr. 16, 213–222. doi:10.1111/j.1365-2095.2009.00653.x

Coldebella, I.J., Neto, J.R., Mallmann, C. A., Veiverberg, C. A., Bergamin, G.T., Pedron, F. A., Ferreira, D., Barcellos, L.J.G., 2011. The effects of different protein levels in the diet on reproductive indexes of *Rhamdia quelen* females. *Aquaculture* 312, 137–144. doi:10.1016/j.aquaculture.2010.12.021

Cowey, C.B., 1992. Nutrition: estimating requirements of rainbow trout. *Aquaculture* 100, 177–189. doi:10.1016/0044-8486(92)90370-Z

Cyrino, J.E.P., Bicudo, A.J. de A., Sado, R.Y., Borghesi, R., Dairik, J.K., 2010. A piscicultura e o ambiente: o uso de alimentos ambientalmente corretos em piscicultura. *Rev. Bras. Zootec.* 39, 68–87. doi:10.1590/S1516-35982010001300009

Cyrino, J.E.P., Fracalossi, D.M., 2013. A pesquisa em nutrição de peixes e o desenvolvimento da aquicultura no Brasil: uma perspectiva histórica, in: Fracalossi, D.M., Cyrino, J.E. P. (Eds.), *Nutriaqua: nutrição e alimentação de espécies de interesse para a aquicultura brasileira*. Aquabio, Florianópolis. Cap. 1. pp.1-7.

Davis, D.A., Lazo, J.P., Arnold, C.R., 1999. Response of juvenile red drum (*Sciaenops ocellatus*) to practical diets supplemented with medium chain triglycerides. *Fish Physiol. Biochem.* 21, 235–248. doi:10.1023/A:1007836612376

De Souza, J.H., Fracalossi, D.M., Garcia, A.S., Ribeiro, F.F., Tsuzuki, M.Y., 2011. Desempenho zootécnico e econômico de juvenis de robalo-peva alimentados com dietas contendo diferentes concentrações proteicas. *Pesqui. Agropecuária Bras.* 46, 190–195. doi:10.1590/S0100-204X2011000200011

Debnath, D., Pal, A.K., Sahu, N.P., Yengkokpam, S., Baruah, K., 2012. Protein requirement of *Labeo rohita* fingerlings based on growth and ammonia excretion. *J. Inl. Fish. Soc. India* 44, 12–20.

Engin, K., Carter, C.G., 2001. Ammonia and urea excretion rates of juvenile Australian short-finned eel (*Anguilla australis australis*) as influenced by dietary protein level. *Aquaculture* 194, 123–136. doi:10.1016/S0044-8486(00)00506-8

Fracalossi, D.M., Borba, M.R., Oliveira Filho, P.R.C., Montes-Girao, P.J., Canton, R. 2007. O mito da onivoria do jundiá. *Panorama da Aquicultura* 17, 36-40.

Glencross, B.D., Booth, M., Allan, G.L., 2007. A feed is only as good as its ingredients? A review of ingredient evaluation strategies for aquaculture feeds. *Aquac. Nutr.* 13, 17–34. doi:10.1111/j.1365-2095.2007.00450.x

Gominho-Rosa, M.C., 2012. Carboidratos em dietas para o jundiá, *Rhamdia quelen*: desempenho, aspectos digestivos e metabólicos. Tese de Doutorado, Curso de Programa de Pós-graduação em Aquicultura, Departamento de Aquicultura, Universidade Federal de Santa Catarina. Disponível em: <https://repositorio.ufsc.br/bitstream/handle/123456789/99436/309186.pdf?sequence=1>.

Green, J. a., Hardy, R.W., 2008. The effects of dietary protein:energy ratio and amino acid pattern on nitrogen utilization and excretion of rainbow trout *Oncorhynchus mykiss* (Walbaum). *J. Fish Biol.* 73, 663–682. doi:10.1111/j.1095-8649.2008.01965.x

Jobling, M. 2001. Feed composition and analysis, in: Houlihan, T., Boujard, M., Jobling, M. (Eds.), *Food intake in Fish*. Blackwell science, Malden, pp.1-24.

Johnson, E.G., Watanabe, W.O., Ellis, S.C., 2002. Effects of Dietary Lipid Levels and Energy: Protein Ratios on Growth and Feed Utilization of Juvenile Nassau Grouper Fed Isonitrogenous Diets at Two Temperatures. *N. Am. J. Aquac.* 64, 47–54. doi:10.1577/1548-8454(2002)064<0047:EODLLA>2.0.CO;2

Koch, J.F.A., Esperancini, M.S.T., Barros, M.M., Carvalho, P.L.P.F., Fernandes, A.C., Teixeira, C.P., Pezzato, L.E., 2014. Avaliação econômica da alimentação de tilápias em tanques-Rede com níveis de proteína e energia digestíveis. *Bol. Inst. Pesca* 40, 605–616.

Lovell, R.T. 1998. *Nutrition and feeding of fish*. Kluwer Academic, Massachusetts.

Lovell, R.T., 2002. Diet and Fish Husbandry, in: Halver, J.E., Hardy,

R.W. (Eds.), Fish Nutrition. Academic Press, San Diego. pp. 703–754.

McGoogan, B.B., Gatlin, D.M., 1999. Dietary manipulations affecting growth and nitrogenous waste production of red drum, *Sciaenops ocellatus* I. Effects of dietary protein and energy levels. Aquaculture 178, 333–348. doi:10.1016/S0044-8486(99)00137-4

McGoogan, B.B., Gatlin, D.M., 2000. Dietary manipulations affecting growth and nitrogenous waste production of red drum, *Sciaenops ocellatus* II. Effects of energy level and nutrient density at various feeding rates. Aquaculture 182, 271–285. doi:10.1016/S0044-8486(99)00260-4

Melo, J.F.B., Lundstedt, L.M., Metón, I., Baanante, I. V., Moraes, G., 2006. Effects of dietary levels of protein on nitrogenous metabolism of *Rhamdia quelen* (Teleostei: Pimelodidae). Comp. Biochem. Physiol. - A Mol. Integr. Physiol. 145, 181–187. doi:10.1016/j.cbpa.2006.06.007

Melo, J.F.B., Lundstedt, L.M., Moraes, G., Inoue, L.A.K.A., 2012. Effect of different concentrations of protein on the digestive system of juvenile silver catfish. Arq. Bras. Med. Veterinária e Zootec. 64, 450–457. doi:10.1590/S0102-09352012000200027

Meyer, G., Fracalossi, D.M., 2004. Protein requirement of jundiá fingerlings, *Rhamdia quelen*, at two dietary energy concentrations. Aquaculture 240, 331–343. doi:10.1016/j.aquaculture.2004.01.034

Montes-Girao, P.J., Fracalossi, D.M., 2006. Dietary lysine requirement as basis to estimate the essential dietary amino acid profile for Jundiá, *Rhamdia quelen*. J. World Aquac. Soc. 37, 388–396. doi:10.1111/j.1749-7345.2006.00052.x

Moro, G.V., Camilo, R.Y., Moraes, G., Fracalossi, D.M., 2010. Dietary non-protein energy sources: growth, digestive enzyme activities and nutrient utilization by the catfish jundiá, *Rhamdia quelen*. Aquac. Res. 41, 394–400. doi:10.1111/j.1365-2109.2009.02352.x

National Research Council (NRC), 2011. Nutrient Requirements of Fish and Shrimp. National Academies Press, Washington.

Oliveira Filho, P.R.C. de, Fracalossi, D.M., 2006. Coeficientes de digestibilidade aparente de ingredientes para juvenis de jundiá. Rev. Bras. Zootec. 35, 1581–1587. doi:10.1590/S1516-35982006000600002

Ozorio, R.O.A., van Eekeren, T.H.B., Huisman, E.A., Verreth, J.A.J., 2001. Effects of dietary carnitine and protein energy : nonprotein energy ratios on growth, ammonia excretion and respiratory quotient in African catfish, *Clarias gariepinus* (Burchell) juveniles. Aquac. Res. 32 Suppl. , 406–414. doi:10.1046/j.1355-557x.2001.00031.x

Piedras, S.R.N., Pouey, J.L.O.F., Moraes, P.R.R., Rodrigues, F.V., 2006. Resposta de alevinos de jundiá (*Rhamdia* sp.) Alimentados com diferentes níveis de proteína bruta e energia digestível. Rev. Bras. Agrociência 12, 217–220. doi:10.18539/cast.v12i2.4536

Portz, L., Dias, C.T. dos S., Cyrino, J.E.P., 2000. Regressão segmentada como modelo na determinação de exigências nutricionais de peixes. Sci. Agric. 57, 601–607. doi:10.1590/S0103-90162000000400002

Portz, L.; Furuya, W.M., 2013. Energia, proteína e aminoácidos, in: Fracalossi, D.M., Cyrino, J.E. P. (Eds.), Nutriaqua: nutrição e alimentação de espécies de interesse para a aquicultura brasileira. Aquabio, Florianópolis. Cap. 4. pp. 65-77.

Potter, L.M., Matterson, L.D., 1960. Metabolizable Energy of Feed Ingredients for the Growing Chick. Poult. Sci. 39, 781–782. doi:10.3382/ps.0390781

Reidel, A., Boscolo, W.R., Feiden, A., Romagosa, E., 2010a. The effect of diets with different levels of protein and energy on the process of final maturation of the gametes of *Rhamdia quelen* stocked in cages. Aquaculture 298, 354–359. doi:10.1016/j.aquaculture.2009.11.005

Reidel, A., Romagosa, E., Feiden, A., Boscolo, W.R., Coldebella, A., Signor, A.A., 2010b. Rendimento corporal e composição química de jundiás alimentados com diferentes níveis de proteína e energia na dieta, criados em tanques-rede. Rev. Bras. Zootec. 39, 233–240. doi:10.1590/S1516-35982010000200001

Salhi, M., Bessonart, M., Chediak, G., Bellagamba, M., Carnevia, D.,

2004. Growth, feed utilization and body composition of black catfish, *Rhamdia quelen*, fry fed diets containing different protein and energy levels. Aquaculture 231, 435–444. doi:10.1016/j.aquaculture.2003.08.006.

Sant'Ana, L.S., Soares, S., Vaz-Pires, P., 2011. Development of a quality index method (QIM) sensory scheme and study of shelf-life of ice-stored blackspot seabream (*Pagellus bogaraveo*). LWT - Food Sci. Technol. 44, 2253–2259. doi:10.1016/j.lwt.2011.07.004

Signor, A., Signor, A.A., Feiden, A., Boscolo, W.R., Reidel, A., Hayashi, C., 2004. Exigência de proteína bruta para alevinos de jundiá *Rhamdia quelen*. Rev. Varia Sci. 4, 79–89.

Steffens, W., 1989. Principles of fish nutrition. Ellis Horwood, Chichester. Halsted Press, New York.

Tessaro, L., Toledo, C.P.R., Neumann, G., Krause, R.A., Meurer, F., Natali, M.R.M., Bombardelli, R.A., 2012. Growth and reproductive characteristics of *Rhamdia quelen* males fed on different digestible energy levels in the reproductive phase. Aquaculture 326–329, 74–80. doi:10.1016/j.aquaculture.2011.11.012

Tocher, D.R., 2003. Metabolism and Functions of Lipids and Fatty Acids in Teleost Fish. Rev. Fish. Sci. 11, 107–184. doi:10.1080/713610925

Valderrama, J.C., 1981. The simultaneous analysis of total nitrogen and total phosphorus in natural waters. Mar. Chem. 10, 109–122. doi:10.1016/0304-4203(81)90027-X

Van Soest, P.J. 1994. Nutritional ecology of the ruminant. Cornell University Press. New York.

## CONCLUSÕES GERAIS

O jundiá apresentou um bom aproveitamento tanto dos ingredientes vegetais, como dos animais, sendo os primeiros mais bem utilizados pela espécie. Os coeficientes de digestibilidade estiveram intimamente ligados à qualidade da matéria-prima e aos métodos de fabricação dos produtos.

A melhor relação ED:PD que proporciona o maior ganho em peso em jundiás (peso médio entre 31 a 82 g) na fase de recria é estimada em  $9,08 \text{ kcal.g}^{-1}$  numa dieta contendo 38,28% PD e  $3437,5 \text{ kcal.kg}^{-1}$  ED. Já para a obtenção de melhor conversão alimentar na mesma faixa de peso a ED:PD é estimada  $9,58 \text{ kcal.g}^{-1}$  o que equivale a uma dieta com 36,07% PD e  $3125 \text{ kcal.kg}^{-1}$  ED. Caso a retenção proteica e os custos de alimentação sejam levados em conta, as melhores ED: PD são estimadas em  $10,34 \text{ kcal.g}^{-1}$  (32,29% PD e  $3229 \text{ kcal.kg}^{-1}$  ED) e  $10,4 \text{ kcal.g}^{-1}$  (33,38% PD e  $3200 \text{ kcal.kg}^{-1}$ ), respectivamente.





## CONSIDERAÇÕES FINAIS

Nesta seção serão abordados alguns aspectos que não foram incluídos nos artigos e consistem em observações que podem contribuir com futuros experimentos com o jundiá em instalações semelhantes às do Laboratório de Biologia e Cultivo de Peixes de Água Doce (LAPAD).

Devido à susceptibilidade do jundiá ao íctio, *Ichthyophthirius multifiliis*, a água do sistema de recirculação foi mantida salinizada ( $2 \text{ g L}^{-1}$ ) nos experimentos de digestibilidade e de desempenho. Assim como observado por Gominho-Rosa (2012), o emprego do sal mostrou-se eficiente como medida profilática para o íctio. Recomenda-se também, a realização de banhos de sal em concentrações maiores ( $5 \text{ a } 8 \text{ g L}^{-1}$ ) por 1 h, logo após a realização de manejos (biometrias, povoamento, etc), quando os peixes ficam mais suscetíveis às respostas ao estresse, aumentando a probabilidade de infestações. No caso de surtos de ictiofíriase, sugere-se a adoção de tratamento similar ao recomendado por Oliveira-Filho (2005), o qual consiste em aumentar a temperatura da água ( $32^{\circ}\text{C}$ ) e realizar banhos de sal ( $8 \text{ g L}^{-1}$ ) por 1 h durante 7 dias. Os banhos devem ser feitos também na recepção dos peixes, durante o período de quarentena.

Tendo em vista que o jundiá é uma espécie bentônica, o excesso de luz sobre as unidades experimentais pode ser um agente estressor, causando alterações no comportamento. No presente estudo, optou-se por não alterar o fotoperíodo do laboratório (12 h de luz e 12 h escuro), mas em reduzir a incidência luminosa sobre as unidades experimentais. Para tanto, utilizou-se, além das persianas, lonas plásticas (cor preta) nas janelas e a instalação de anteparos nas luminárias (Anexo, Figuras 1 e 2). Tais modificações surtiram efeitos positivos e deram maior conforto aos animais. A adoção de fotoperíodo de 24 h de escuro ou de diminuição excessiva da luminosidade não é aconselhável, pois dificulta consideravelmente o manejo alimentar e a observação dos animais.

Nas fases iniciais de vida, o jundiá apresenta comportamento gregário, o que exige atenção especial na adoção de densidades de estocagem adequadas, respeitando a faixa de peso e o tipo de unidade experimental. Além disso, por se tratar de uma espécie pouco domesticada, o jundiá se estressa facilmente o que pode prejudicar o consumo e, consequentemente, os resultados do experimento. Durante o período de quarentena, os animais utilizados nos dois experimentos foram estocados em altas densidades em tanques circulares (1000 L)

com elevadas taxas de renovação de água. Nessa condição, os jundiás apresentaram boa condição de saúde e excelente consumo alimentar. Entretanto, após a transferência e aclimação às unidades experimentais (tanques cilindro-cônicos de 200 L e retangulares 120 L), os peixes mostravam-se estressados e com alterações de comportamento, o que implicou na interrupção do consumo alimentar e no aparecimento de doenças (íctio e bacterioses). Para sanar essa situação, no experimento de digestibilidade optou-se pela diminuição da densidade de estocagem (15 para 10 peixes) e pela alimentação dos animais direto nos tanques de coleta de fezes (diferentemente de Oliveira Filho, 2005) (Anexo, Figura 3). No entanto, para que não ocorram contaminações das fezes por ração, faz-se necessário uma limpeza rigorosa dos tanques (paredes e fundo), a qual deve ser feita pelo menos 1 h após a última alimentação. Caso a limpeza seja realizada logo em seguida da alimentação, há risco dos animais regurgitarem a ração (bastante comum em jundiá), prejudicando as coletas de fezes. No experimento de desempenho, optou-se pelo aumento da densidade de estocagem (20 para 25 peixes) e pela remoção das tampas teladas das unidades experimentais. A remoção diária das tampas dos tanques causava estresse desnecessário nos animais e prejudicava o consumo alimentar. Assim, as tampas foram removidas e para evitar o escape de animais, o volume útil de água nos tanques foi reduzido de 100 para 70 L (Anexo, Figura 4).

Em ambos os experimentos, a adoção dessas medidas surtiram em efeitos positivos no comportamento dos animais e favoreceram os manejos experimentais. Nesse sentido, destaca-se a importância do planejamento adequado de um período de aclimação, onde será possível a observação dos animais e a realização dos ajustes necessários antes do início do experimento. Durante esse período, sugere-se ainda, a realização de experimentos pilotos que possam garantir as melhores condições experimentais. Como exemplo, em experimentos de digestibilidade deve-se determinar o tempo de passagem de rações no trato intestinal, permitindo a definição dos melhores horários de coleta de fezes. Tal aspecto é de grande importância, visto que o aproveitamento das dietas pode variar em virtude da formulação e fabricação das dietas (ingredientes testados, níveis de inclusão, tipo de marcador inerte, etc), do tamanho e idade dos animais, entre outros fatores. Além de possibilitar maiores volumes de material coletado, o ajuste dos horários pode também permitir que coletas de fezes sejam realizadas durante o dia, evitando a coleta noturna que é bastante desgastante para o executor.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS DA INTRODUÇÃO

ALLAN, Geoff L. *et al.* Replacement of fish meal in diets for Australian silver perch, *Bidyanus bidyanus*: I. Digestibility of alternative ingredients. **Aquaculture**, [s.l.], v. 186, n. 3-4, p.293-310, jun. 2000. Elsevier BV. DOI: 10.1016/s0044-8486(99)00380-4. Disponível em: <<http://api.elsevier.com/content/article/PII:S0044848699003804?httpAccept=text/xml>>.

BALDISSEROTTO, Bernardo; RANDUZ NETO, João. **Criação de Jundiá**. Santa Maria: Ed. UFSM, 2004. 232 p.

BALDISSEROTTO, Bernardo; RANDUZ NETO, João; BARCELLOS, Leonardo Gil. Jundiá (*Rhamdia* sp.). In: BALDISSEROTTO, Bernardo; GOMES, Levy de Carvalho. **Espécies nativas para piscicultura no Brasil**. 2. ed. Santa Maria: Ed. UFSM, 2010. Cap. 11. p. 301-333.

BARCELLOS, Leonardo José Gil *et al.* Nursery rearing of jundiá, *Rhamdia quelen* (Quoy & Gaimard) in cages: cage type, stocking density and stress response to confinement. **Aquaculture**, [s.l.], v. 232, n. 1-4, p.383-394, abr. 2004. Elsevier BV. DOI: 10.1016/s0044-8486(03)00545-3. Disponível em: <<http://api.elsevier.com/content/article/PII:S0044848603005453?httpAccept=text/xml>>.

BELAL, Ibrahim E.H. A review of some fish nutrition methodologies. **Bioresource Technology**, [s.l.], v. 96, n. 4, p.395-402, mar. 2005. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.biortech.2003.11.030. Disponível em: <<http://api.elsevier.com/content/article/PII:S096085240400166X?httpAccept=text/xml>>.

BERGAMIN, Giovani Taffarel *et al.* Digestibilidade aparente de farelos vegetais tratados para remoção de antinutrientes em dietas para jundiá. **Pesq. Agropec. Bras.**, [s.l.], v. 48, n. 8, p.928-934, 2013. FapUNIFESP (SciELO). DOI: 10.1590/s0100-204x2013000800017.

BORBA, Maude Regina *et al.* **Growth and body composition of jundiá, *Rhamdia quelen*, fingerlings in response to protein concentration in practical diets**. In: XIII International Symposium on Fish Nutrition and Feeding, 2008, Florianópolis. Book of Abstracts -

XIII International Symposium on Fish Nutrition and Feeding. p. 114-114. 2008.

BOSCOLO, Wilson Rogério; HAYASHI, Carmino; MEURER, Fábio. Digestibilidade Aparente da Energia e Nutrientes de Alimentos Convencionais e Alternativos para a Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*, L.). **Rev. Bras. Zootec.**, [s.l.], v. 31, n. 2, p.539-545, 2002. FapUNIFESP (SciELO). DOI: 10.1590/s1516-35982002000300001.

CAMPBELL, Mary. K. **Biochemistry**. 2 ed. Philadelphia: Saunders College Publishing, 1991. 657 p.

CARNEIRO, Paulo César Falanghe; MIKOS, Jorge Daniel. Frequência alimentar e crescimento de alevinos de jundiá, *Rhamdia quelen*. **Cienc. Rural**, [s.l.], v. 35, n. 1, p.187-191, 2005. FapUNIFESP (SciELO). DOI: 10.1590/s0103-84782005000100030.

CHO, C. Y.; SLINGER, S. J. Apparent digestibility measurement in feedstuffs for rainbow trout. In: HALVER, John Emil; TIEWS, Klaus. **Finfish Nutrition and Fishfeed Technology**. Vol.2. Berlim: Heinemann, 1979. p. 239–247.

COLDEBELLA, I.j. *et al.* The effects of different protein levels in the diet on reproductive indexes of *Rhamdia quelen* females. **Aquaculture**, [s.l.], v. 312, n. 1-4, p.137-144, fev. 2011. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2010.12.021. Disponível em: <<http://api.elsevier.com/content/article/PII:S0044848610008653?httpAccept=text/xml>>.

CYRINO, José Eurico Possebon et al. A piscicultura e o ambiente: o uso de alimentos ambientalmente corretos em piscicultura. **R. Bras. Zootec.**, [s.l.], v. 39, p.68-87, 2010. FapUNIFESP (SciELO). DOI: 10.1590/s1516-35982010001300009.

CYRINO, José Eurico Possebon; FRACALOSSI, Débora Machado. A pesquisa em nutrição de peixes e o desenvolvimento da aquicultura no Brasil: uma perspectiva histórica. In: FRACALOSSI, Débora Machado; CYRINO, José Eurico Possebon. **Nutriaqua: nutrição e alimentação de espécies de interesse para a aquicultura brasileira**. Florianópolis: AQUABIO, 2013.Cap.1.p.1-7.

DE SILVA, Sena S de; ANDERSON, Trevor A. **Fish Nutrition in Aquaculture**. London: Chapman Hall, 1995. 319 p.

EINDE, R.M. van Den *et al.* Modeling macromolecular degradation of corn starch in a twin screw extruder. **Journal Of Food Engineering**, [s.l.], v. 66, n. 2, p.147-154, jan. 2005. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.jfoodeng.2004.03.001. Disponível em: <<http://api.elsevier.com/content/article/PII:S0260877404001074?httpAccept=text/xml>>.

FRACALLOSSI, Débora Machado *et al.* **No rastro das espécies nativas**. Panorama da Aquicultura, Rio de Janeiro, n. 74, p.43-49, nov. 2002. Bimestral. Disponível em: <<http://www.panoramadaaquicultura.com.br/paginas/revistas/74/especies.asp>>.

FRACALLOSSI, Débora Machado *et al.* **O mito da onivoria do jundiá**. Panorama da Aquicultura, Rio de Janeiro, v. 17, n. 100, p.36-40, jun. 2007. Bimestral. Disponível em: <<http://www.panoramadaaquicultura.com.br/paginas/Revistas/100/JUN>>.

FRACALLOSSI, Débora Machado; FERNANDES, Vitor Augusto Giatti. **Nutrição do jundiá**. Panorama da Aquicultura, Rio de Janeiro, v. 124, n. 124, p.38-43, out. 2011. Bimestral. Disponível em: <<http://www.panoramadaaquicultura.com.br/paginas/Revistas/124/OUT>>.

FRANCIS, George; MAKKAR, Harinder P.S; BECKER, Klaus. Antinutritional factors present in plant-derived alternate fish feed ingredients and their effects in fish. **Aquaculture**, [s.l.], v. 199, n. 3-4, p.197-227, ago. 2001. Elsevier BV. DOI: 10.1016/S0044-8486(01)00526-9. Disponível em: <<http://api.elsevier.com/content/article/PII:S0044848601005269?httpAccept=text/xml>>.

GLENCROSS, B.D.; BOOTH, M.; ALLAN, G.L. A feed is only as good as its ingredients ? a review of ingredient evaluation strategies for aquaculture feeds. **Aquaculture Nutrition**, [s.l.], v. 13, n. 1, p.17-34, fev. 2007. Wiley-Blackwell. DOI: 10.1111/j.1365-2095.2007.00450.x.

GOMINHO-ROSA, Maria do Carmo. **Carboidratos em dietas para o jundiá, *Rhamdia quelen*: desempenho, aspectos digestivos e metabólicos**. 2012. 119 f. Tese (Doutorado) - Curso de Programa de

Pós-graduação em Aquicultura, Departamento de Aquicultura, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2012.

HARDY, Ronald W. Understanding and using apparent digestibility coefficients in fish nutrition. **Aquaculture Magazine**, San Antonio, v. 516, p.84-89, 1997.

HEMRE, G.I.; MOMMSEN, T.P.; KROGDAHL, A. Carbohydrates in fish nutrition: effects on growth, glucose metabolism and hepatic enzymes. **Aquaculture Nutrition**, [s.l.], v. 8, n. 3, p.175-194, set. 2002. Wiley-Blackwell. DOI: 10.1046/j.1365-2095.2002.00200.x.

IBGE. **Produção da Pecuária Municipal 2014**. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Rio de Janeiro, 2014. v. 42, 39p.

JOBLING, M. A short review and critique of methodology used in fish growth and nutrition studies. **Journal of Fish Biology**, [s.l.], v. 23, n. 6, p.685-703, dez. 1983. Wiley-Blackwell. DOI: 10.1111/j.1095-8649.1983.tb02946.x.

LEE, D. J.; PUTNAM, G. B.; STATE, O. The Response of Rainbow Trout to Varying Protein / Energy Ratios in a Test Diet. **J Nutr**, v.103, (6), p.916-922, jun. 1973

LOVELL, Richard Tom. Diet and fish husbandry. In: HALVER, John Emil; HARDY, Ronald W. **Fish Nutrition**. San Diego: Academic Press, 2002. Cap. 13. p. 703-754.

LOVELL, Richard Tom. **Nutrition and feeding of fish**. 2.ed. Boston: Kluwer Academic Publishers, 1998. 267 p.

MÉDALE, F.; BLANC, D.; KAUSHIK, S.J.. Studies on the nutrition of Siberian sturgeon, *Acipenser baeri*. II. Utilization of dietary non-protein energy by sturgeon. **Aquaculture**, [s.l.], v. 93, n. 2, p.143-154, mar. 1991. Elsevier BV. DOI: 10.1016/0044-8486(91)90213-q. Disponível em: <<http://api.elsevier.com/content/article/PII:004484869190213Q?httpAccept=text/xml>>.

MELO, J.F.B. *et al.* Effect of different concentrations of protein on the digestive system of juvenile silver catfish. **Arquivo Brasileiro de Medicina Veterinária e Zootecnia**, [s.l.], v. 64, n. 2, p.450-457, 2012. FapUNIFESP (SciELO). DOI: 10.1590/s0102-09352012000200027.

MELO, José Fernando Bibiano *et al.* Effects of dietary levels of protein on nitrogenous metabolism of *Rhamdia quelen* (Teleostei: Pimelodidae). **Comparative Biochemistry And Physiology Part A: Molecular & Integrative Physiology**, [s.l.], v. 145, n. 2, p.181-187, out. 2006. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.cbpa.2006.06.007.

MEYER, Gustavo; FRACALOSS, Débora Machado. Protein requirement of jundia fingerlings, *Rhamdia quelen*, at two dietary energy concentrations. **Aquaculture**, [s.l.], v. 240, n. 1-4, p.331-343, out. 2004. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2004.01.034.

MILLWARD, D.J. The nutritional regulation of muscle growth and protein turnover. **Aquaculture**, [s.l.], v. 79, n. 1-4, p.1-28, jul. 1989. Elsevier BV. DOI: 10.1016/0044-8486(89)90441-9. Disponível em: <<http://api.elsevier.com/content/article/PII:0044848689904419?httpAccpt=text/xml>>.

MORO, Giovanni Vitti *et al.* Dietary non-protein energy sources: growth, digestive enzyme activities and nutrient utilization by the catfish jundiá, *Rhamdia quelen*. **Aquaculture Research**, [s.l.], v. 41, n. 3, p.394-400, fev. 2010. Wiley-Blackwell. DOI: 10.1111/j.1365-2109.2009.02352.x.

NRC (National Research Council). **Nutrient Requirements of fish** Washington: National Academic Press, 1993. 128 p.

NRC (National Research Council). **Nutrient Requirements of fishes and shrimps**. Washington: National Academic Press, 2011. 376 p.

OLIVA-TELES,. Nutrition and health of aquaculture fish. **Journal Of Fish Diseases**, [s.l.], v. 35, n. 2, p.83-108, 11 jan. 2012. Wiley-Blackwell. DOI: 10.1111/j.1365-2761.2011.01333.x.

OLIVEIRA FILHO, Paulo Roberto Campagnoli de; FRACALOSSI, Débora Machado. Coeficientes de digestibilidade aparente de ingredientes para juvenis de jundiá. **R. Bras. Zootec.**, [s.l.], v. 35, n. 4, p.1581-1587, 2006. FapUNIFESP (SciELO). DOI: 10.1590/s1516-35982006000600002.

OSTRENSKY, Antônio *et al.* **Aqüicultura no Brasil: o desafio é crescer**. Brasília: Organização das Nações Unidas Para Agricultura e Alimentação - FAO, 2008. 276 p.

PEZZATO, Luiz Edivaldo *et al.* Digestibilidade Aparente de Ingredientes pela Tilápia do Nilo (*Oreochromis niloticus*). **R. Bras. Zootec.**, [s.l.], v. 31, n. 4, p.1595-1604, 2002. FapUNIFESP (SciELO). DOI: 10.1590/s1516-35982002000700001.

PIEDRAS, Sérgio Renato Noguez *et al.* Resposta de alevinos de jundiá (*Rhamdia* sp.) Alimentados com diferentes níveis de proteína bruta e energia digestível. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 12, n. 2, p.217-220, 2006.

PORTZ, Leandro; FURUYA, Wilson Massamitu. Energia, proteína e aminoácidos. In: FRACALOSSI, Débora Machado; CYRINO, José Eurico Possebon. **Nutriaqua: nutrição e alimentação de espécies de interesse para a aqüicultura brasileira**. Florianópolis: Aquabio, 2013. Cap. 4. p. 65-77.

RANDUZ NETO, João; BORBA, Maude Regina. Exigências nutricionais e alimentação do jundiá. In: FRACALOSSI, Débora Machado; CYRINO, José Eurico Possebon. **Nutriaqua: nutrição e alimentação de espécies de interesse para a aqüicultura brasileira**. Florianópolis: AQUABIO, 2013. Cap.12.p.241-253.

REIDEL, Adilson *et al.* Rendimento corporal e composição química de jundiás alimentados com diferentes níveis de proteína e energia na dieta, criados em tanques-rede. **R. Bras. Zootec.**, [s.l.], v. 39, n. 2, p.233-240, 2010a. FapUNIFESP (SciELO). DOI: 10.1590/s1516-35982010000200001.



REIDEL, Adilson *et al.* The effect of diets with different levels of protein and energy on the process of final maturation of the gametes of *Rhamdia quelen* stocked in cages. **Aquaculture**, [s.l.], v. 298, n. 3-4, p.354-359, jan. 2010b. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2009.11.005. Disponível em: <<http://api.elsevier.com/content/article/PII:S0044848609009211?httpAccept=text/xml>>.

REIDEL, Adilson. **Níveis de energia e proteína na alimentação do jundiá (*Rhamdia quelen*) criados em tanques-rede**. 2007. 76 f. Tese (Doutorado) - Curso de Pós-graduação em Aqüicultura, Centro de Aqüicultura, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2007.

ROBINSON, E.H.; WILSON, R.P. Nutrition and feeding. In: TUCKER, Craig, S. (Ed.). **Channel catfish culture: developments in aquaculture and fisheries science**. Amsterdam: Elsevier Scientific Press, 1985. p. 323-404.

RODRIGUES, A.P.O. *et al.* Different utilization of plant sources by the omnivores jundiá catfish (*Rhamdia quelen*) and Nile tilapia (*Oreochromis niloticus*). **Aquaculture Nutrition**, [s.l.], v. 18, n. 1, p.65-72, 29 jun. 2012. Wiley-Blackwell. DOI: 10.1111/j.1365-2095.2011.00877.x. Disponível em: <<http://api.wiley.com/onlinelibrary/tdm/v1/articles/10.1111/j.1365-2095.2011.00877.x>>.

SALHI, M. *et al.* Growth, feed utilization and body composition of black catfish, *Rhamdia quelen*, fry fed diets containing different protein and energy levels. **Aquaculture**, [s.l.], v. 231, n. 1-4, p.435-444, mar. 2004. Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2003.08.006.

SIGNOR, Altevir *et al.* Exigência de proteína bruta para alevinos de jundiá *Rhamdia quelen*. **Revista Varia Scientia**, Cascavel, v. 4, n. 8, p.79-89, 2004.

STEFFENS, Werner. **Principles of fish nutrition**. Chichester: Ellis Horwood, 1989. 384 p.

TESSARO, Lucélia *et al.* Growth and reproductive characteristics of *Rhamdia quelen* males fed on different digestible energy levels in the reproductive phase. **Aquaculture**, [s.l.], v. 326-329, p.74-80, jan. 2012.

Elsevier BV. DOI: 10.1016/j.aquaculture.2011.11.012. Disponível em: <<http://api.elsevier.com/content/article/PII:S004484861100901X?httpAccept=text/xml>>.

VENS-CAPPELL, B. Methodical studies on digestion in trout. 1. Reliability of digestion coefficients in relation to methods for faeces collection. **Aquacultural Engineering**, [s.l.], v. 4, n. 1, p.33-49, jan. 1985. Elsevier BV. DOI: 10.1016/0144-8609(85)90004-4. Disponível em: <<http://api.elsevier.com/content/article/PII:0144860985900044?httpAccept=text/xml>>.

WILSON, Robert.P. Amino acids and proteins. In: HALVER, John Emil. **Fish nutrition**. Washington: Academic Press, 1989. Cap. 3, p. 111-151.

## ANEXO



Figuras – 1 e 2) Detalhes da lona plástica na janelas e do anteparo na luminária instalados para redução da incidência luminosa sobre as unidades experimentais. 3) Vista superior dos tanques de coleta de fezes com as gaiolas para estocagem dos jundiás. 4) Vista superior dos tanques de desempenho com volume ajustado para 70 L.